

ANTONIO TRAVASSOS SOBRINHO

**EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL TERMOACÚSTICO A OPERADORES DE
TRATORES AGRÍCOLAS**

**RECIFE
2019**

**EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL TERMOACÚSTICO A OPERADORES DE
TRATORES AGRÍCOLAS**

ANTONIO TRAVASSOS SOBRINHO

Orientador: **Prof. Dr. HÉLITON PANDORFI**

Coorientador: **Prof. Dr. VERONILDO SOUZA DE OLIVIERA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Agrícola.

RECIFE

2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

T779e Travassos Sobrinho, Antonio

Exposição ocupacional termoacústico a operadores de tratores agrícolas / Antonio Travassos Sobrinho.- Recife, 2019.
103 f.: il.

Orientador(a): Héilton Pandorfi.

Coorientador(a): Veronildo Souza de Oliveira.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Recife, BR-PE, 2019.

Inclui referências.

1. Ergonomia 2. Qualidade de vida no trabalho 3. Máquinas agrícolas 4. Tratores agrícolas - Avaliação técnica 5. Termografia 6. Ruídos 7. Segurança do trabalho I. Pandorfi, Héilton, orient. II. Oliveira, Veronildo Souza de, coorient. III. Título

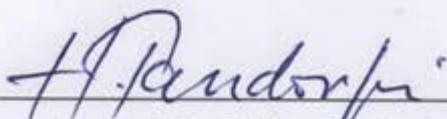
CDD 630

ANTONIO TRAVASSOS SOBRINHO

EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL TERMOACÚSTICO A OPERADORES DE
TRATORES AGRÍCOLAS

Tese defendida e aprovada em 27 de fevereiro de 2019 pela Banca Examinadora:

Orientador:



Prof. Dr. Héilton Pandorfi

DEAGRI/UFRPE

Examinadores:



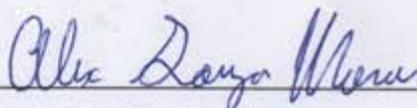
Prof. Dr. Veronildo Souza de Oliveira

DEAGRI/UFRPE



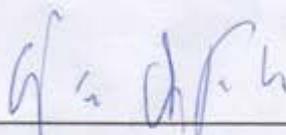
Prof. Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida

DEAGRI/UFRPE



Prof. Dr. Alex Souza Moraes

DQ/UFRPE



Prof. Dr. Leonardo de Almeida Monteiro

DENA - UFC

“Ter fé não significa estar livre de momentos difíceis, mas ter a força para enfrentá-los sabendo que não estamos sozinhos”.

Papa Francisco

“As dificuldades devem ser usadas para crescer, não para desencorajar, continue se levantando até que a vida se canse de te derrubar”.

Leão de Jah

Aos meus pais José Oliveiro Cavalcanti Travassos (in memorian) e Judite Carneiro Travassos (in memorian), pelo o exemplo de trabalho que norteou os meus passos e pela dedicação em benefício do progresso intelectual e da formação moral de seus filhos.

OFEREÇO

À minha esposa Lindinalda Travassos Viana e aos nossos filhos Juliana Travassos Viana, Tatiana Travassos Viana e Renato Travassos Viana pelo amor, compreensão e carinho em todos os momentos.

DEDICO

“Se conscientizarmos que segurança no trabalho é essencial, então a saúde se tornará uma consequência”.

Charlison Soares Bispo

“Trabalhar com segurança é acreditar que você é a ferramenta mais importante para a empresa”.

Tiago Quixabeira

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar saúde, força e sabedoria nesta fase da minha vida para vencer mais esta batalha.

À Universidade Federal Rural de Pernambuco, através da Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação e do Departamento de Engenharia Agrícola – DEAGRI, na pessoa do Coordenador Professor Dr. Ênio Farias de França, e do vice Coordenador Mário Monteiro Rolim pela amizade, oportunidade e apoio para a realização deste curso.

Ao meu orientador, Professor Dr. Héilton Pandorfi, pela amizade, incentivo e pela dedicação e maestria dos ensinamentos ministrados, pelo espírito de cooperação e solicitude quando da elaboração desta Tese.

Ao meu Coorientador, Professor Dr. Veronildo Souza de Oliveira, pela amizade, incentivos, pelas valiosas orientações e sugestões formuladas, espírito de cooperação e empenho durante o processamento e interpretação dos dados através de análise multivariada e de análise de regressão múltipla, na realização desta Tese.

À Diretora do Departamento de Engenharia Agrícola, professora Dra. Marianne de Lima Barbosa, pela amizade, compreensão e apoio durante os momentos difíceis nesta caminhada.

A Fundação CAPES pelo o apoio ao curso de Pós Graduação e Engenharia Agrícola da UFRPE.

À minha esposa Lindinalda Travassos Viana pelo empenho, apoio e constante incentivo nesta trajetória.

Aos meus filhos Juliana Travassos Viana, Tatiana Travassos Viana e Renato Travassos Viana, pela motivação para que a realização deste trabalho fosse possível.

A meus irmãos Clarice, Mary, Cantidiano, José Oliveiro, Roldão (in memorian), Francisco (in memorian), Rosane, Judite, Ricardo Travassos (in memorian), pelos apoios, mesmo daqueles que já não estão mais conosco neste plano e, ao meu genro Guilherme Tadeu Wanderley Feitosa Filho pela amizade, apoio e incentivos durante esta trajetória.

Ao Professor Dr. João Audifax Cezar de Albuquerque Filho, pelo espírito de cooperação, pela a realização da análise estatística e esclarecimentos necessários referentes aos resultados dos dados de campo.

Ao Professor Dr. Alex Souza Moraes, pela amizade, incentivo e pelo auxílio no processamento e interpretação dos dados de campo através de análise estatística multivariada.

À Usina Petribu, na pessoa do Dr. Clóvis Rodrigues de Oliveira Júnior, diretor agrícola, pela presteza em disponibilizar todos os tratores, implementos agrícolas, áreas de plantio e equipe técnica para que fosse possível a realização dos trabalhos com coletas de dados no campo.

Ao Dr. José Carlos de Moraes Pessoa, gerente de logística da Usina Petribu, pela amizade, auxílio na formação da equipe de campo e auxílio na seleção de todo equipamento utilizado nas operações.

Ao Sr. Givanildo Santana da Silva, operador de máquinas, funcionário da Usina Petribu, pelo espírito de cooperação e amizade durante a operação dos tratores nos trabalhos de campo.

Ao Sr. Alexandre José da Silva, funcionário da Usina Petribu, pela amizade e pelo auxílio durante as coletas de dados de campo.

Ao Sr. Luiz Serafim Soares, Coordenador de mecanização, funcionário da Usina Petribu, pela amizade, constante disponibilidade e presteza para que os trabalhos no campo ocorressem sem empecilhos que pudessem provocar problemas durante as coletas de dados.

À Dra. Uilka Elisa Tavares, pelo espírito de cooperação e gentileza no processo de análise e classificação dos solos (áreas 01 e 02).

Ao Professor Dr. Leonardo de Almeida Monteiro, pela atenção e sugestões durante os momentos de homologação e qualificação do trabalho de Tese.

Ao Professor Dr. Gledson Luiz Pontes de Almeida, pela amizade, pelas sugestões e orientação durante os momentos de homologação, qualificação e defesa de Tese.

Ao Professor Dr. Ítalo Ataíde Notaro, pela amizade e incentivo durante toda a trajetória deste trabalho.

A todos os Professores do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelas amizades e pelos ensinamentos ministrados durante o curso.

Ao Professor Dr. Robertson Fontes Júnior, pela amizade, colaboração e apoio.

Aos colegas do curso de pós-graduação pelos momentos de alegria, descontração, de estudo em grupo e de amizade especialmente à colega Laércia Rocha.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta Tese, especialmente, a todos que fazem o DEAGRI.

SUMÁRIO

| | Pág. |
|---|------|
| LISTA DE FIGURAS | xiii |
| LISTA DE TABELAS | xv |
| RESUMO | 16 |
| ABSTRACT | 17 |
| INTRODUÇÃO GERAL..... | 19 |
| OBJETIVO GERAL | 21 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 21 |
| REVISÃO DE LITERATURA..... | 21 |
| 1. Ergonomia | 21 |
| 2. Trator agrícola | 22 |
| 2.1 Preparo periódico do solo | 23 |
| 3. Estresse Térmico..... | 24 |
| 3.1 Variação da temperatura da pele..... | 25 |
| 3.2 Efeito do estresse térmico na saúde humana | 26 |
| 4 Produtividade e o ambiente térmico | 28 |
| 4.1 Variáveis humanas..... | 28 |
| 4.2 Índice de conforto térmico..... | 29 |
| 4.3 Monitoramento térmico ocupacional..... | 30 |
| 4.4 Aferição da taxa metabólica | 30 |
| 5 Termografia por infravermelho | 30 |
| 5.1 Imagens termográficas por infravermelho..... | 31 |
| 6 Indicativo de estresse térmico na operação de máquinas agrícolas..... | 32 |
| 6.1 Estresse sonoro (Ruído)..... | 33 |

| | | |
|---|--|----|
| 6.2 | Características físicas do som..... | 34 |
| 6.2.1 | Frequência..... | 34 |
| 6.2.2 | Comprimento de onda..... | 35 |
| 6.2.3 | Potência, pressão e intensidade sonora..... | 36 |
| 6.2.4 | Unidades bel e decibel..... | 37 |
| 6.2.5 | Escalas de ponderação..... | 37 |
| 6.3 | Norma regulamentadora de exposição ao ruído..... | 38 |
| 6.3.1 | Efeitos do ruído no corpo humano..... | 38 |
| 6.4 | Ruído no trator..... | 40 |
| 7 | Carga física de trabalho..... | 40 |
| 7.1 | Carga física de trabalho na agricultura..... | 41 |
| 8 | Referências..... | 42 |
| Capítulo 1 – CONFORTO TERMOACÚSTICO NO PREPARO PERIÓDICO DO SOLO PARA OPERADORES DE TRATORES AGRÍCOLAS..... | | 49 |
| RESUMO..... | | 49 |
| ABSTRACT..... | | 50 |
| 1. | INTRODUÇÃO..... | 51 |
| 2. | MATERIAL E MÉTODOS..... | 52 |
| 2.1 | Local do experimento..... | 52 |
| 2.2 | Áreas do experimento..... | 52 |
| 2.3 | Solos nas áreas de trabalho..... | 53 |
| 2.4 | Fontes de Potência (Tratores)..... | 54 |
| 2.5 | Implementos Agrícolas..... | 55 |
| 2.6 | Coleta de dados nos tratores..... | 57 |
| 2.7 | Características do operador..... | 58 |
| 2.8 | Condições da jornada de trabalho nas operações de campo..... | 59 |
| 2.9 | Aferição das variáveis ambientais..... | 59 |
| 2.9.1 | Equação de Stull – Temperatura de bulbo úmido..... | 60 |
| 2.10 | Índice de bulbo úmido e termômetro de globo (IBUTG)..... | 60 |
| 2.11 | Nível de ruído – dB(A)..... | 62 |
| 2.12 | Carga física de trabalho..... | 65 |
| 2.13 | Análise de dados..... | 67 |
| 3. | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 67 |
| 3.1 | Trator plataformado sem cabine..... | 67 |

| | |
|--|-----|
| 3.1.1. Níveis de IBUTG (°C) no preparo periódico do solo..... | 67 |
| 3.1.2 Níveis de ruído no preparo periódico do solo..... | 70 |
| 3.1.3 Frequência cardíaca do operador durante o preparo periódico do solo..... | 73 |
| 3.1.4 Carga física de trabalho do operador durante o preparo periódico do solo.. | 74 |
| 3.2 Trator com cabine com cabine ergonômica..... | 75 |
| 3.2.1. Níveis de IBUTG (°C) no preparo periódico do solo..... | 75 |
| 3.2.2. Níveis de ruído no preparo periódico do solo..... | 77 |
| 3.2.3. Frequência cardíaca do operador durante o preparo periódico do solo..... | 79 |
| 3.2.4 Carga física de trabalho do operador durante o preparo periódico do solo.. | 81 |
| 4. CONCLUSÕES | 82 |
| 5. REFERÊNCIAS | 82 |
| Capítulo 2 – PREDIÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORTO OCUPACIONAL PARA OPERAÇÃO DE TRATORES AGRÍCOLAS | 85 |
| RESUMO | 85 |
| ABSTRACT | 86 |
| 1. INTRODUÇÃO..... | 87 |
| 2 MATERIAL E MÉTODOS..... | 88 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 94 |
| 4. CONCLUSÕES | 101 |
| 5. REFERÊNCIAS | 101 |

LISTA DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Figura 1 - Variação da temperatura da pele em função da flutuação da temperatura ambiente em um corpo saudável, sem vestimenta. | 24 |
| Figura 2 – Variação da temperatura na pele em função da variação de temperatura ambiente, em um corpo sem vestimenta (SOUZA, 2014). | 27 |
| Figura 3 - Respostas fisiológicas do corpo humano a situações de temperaturas extremas, muito altas e muito baixas. | 27 |
| Figura 4 – Imagem da pele registrada por termovisor para aferir a temperatura da face | 32 |
| Figura 5 – Capacidade de detecção de frequências pelo ouvido humano. Modificado Bruel e Kjaer, em Análise em frequência. Fonte: Santos. (2006)..... | 35 |
| Figura 6 - Representação gráfica do comprimento de onda. Modificado Bruel e Kjaer, em Análise em frequência. Fonte: Santos. (2006). | 36 |
| Figura 7 – Alguns dos distúrbios causados pelo ruído no ser humano. Fonte: Autor | 39 |
| Figura 8 – Mapa de localização da Usina Petribu, local de realização do estudo..... | 52 |
| Figura 9 – Vista da localização por imagem de satélite das áreas 01 e 02, localizadas no campo de cultivo de cana-de-açúcar da Usina Petribu. Fonte: Google Earth (acesso em março, 2018) | 53 |
| Figura 10 - Trator sem cabine ergonômica (plataformado) utilizado na área de trabalho (01)..... | 54 |
| Figura 11 – Trator com cabine, com ar condicionado, na área de trabalho (02). | 55 |
| Figura 12 – Grade aradora pesada utilizada na operação revolvimento nas áreas 01 e 02, durante a coleta de dados | 56 |
| Figura 13 – Grade destorroadora/niveladora média utilizada nas áreas (01) e (02), durante a coleta de dados na operação de gradagem..... | 56 |
| Figura 14 – Sulcador adubador tipo canavieiro de duas linhas usado nas áreas 01 e 02, durante a coleta de dados na operação de sulcagem | 57 |
| Figura 15 – Abrigo para “ <i>datalogger</i> ” utilizado na aferição das variáveis ambientais no campo..... | 58 |
| Figura 16 – Equipamentos HOBO U12-12 utilizados nos registros das variáveis temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e temperatura de globo negro, nos tratores sem e com cabine (áreas 01 e 02) e no ambiente externo | 60 |
| Figura 17 – Decibelímetro utilizado no registro do ruído na plataforma de trabalho (trator sem cabine) e no trator com cabine com ar condicionado | 63 |
| Figura 18 – Monitor cardíaco de pulso com cinta transmissora para registro da frequência cardíaca..... | 65 |
| Figura 19 – Variação do índice de bulbo úmido e termômetro de globo negro (IBUTG, °C) durante o preparo periódico do solo no trator sem cabine ergonômica..... | 69 |
| Figura 20 – Variação dos níveis de ruídos durante o preparo periódico do solo no trator sem cabine..... | 71 |
| Figura 21 – Variação da frequência cardíaca do operador durante a operação de preparo periódico do solo no trator sem cabine | 73 |
| Figura 22 – Variação dos índices de bulbo úmido e termômetro de globo negro (IBUTG, °C) durante o preparo periódico do solo no trator com cabine ergonômica.... | 76 |

| | |
|--|----|
| Figura 23 – Variação dos níveis de ruídos durante o preparo periódico do solo no trator com cabine ergonômica..... | 78 |
| Figura 24 – Variação dos níveis de frequência cardíaca do operador durante o preparo periódico do solo no trator com cabine ergonômica | 80 |
| Figura 25 – Detalhes da câmera termográfica utilizada para registrar as imagens térmicas do operador durante as operações de campo | 89 |
| Figura 26 – Imagem termográfica do operador na plataforma de trabalho e identificação da temperatura média de braço (32,3°C) e da cabeça (34,4°C). | 90 |
| Figura 27 – Análise de agrupamento da frequência cardíaca (F.C, bpm); Ruído (dB(A)); temperatura de bulbo úmido (Tbu, °C); temperatura de bulbo seco (Tbs, °C); temperatura de globo negro (Tgn, °C); temperatura da cabeça (Tcabeça, °C); temperatura do braço (Tbraço, °C); umidade relativa do ar (UR, %) e velocidade do ar (Vel. m s ⁻¹). | 95 |
| Figura 28 – Análise multivariada de componentes principais: variáveis estudadas, figura (A) e operações de preparo do solo figura (B)..... | 98 |

LISTA DE TABELAS

| | Pág. |
|--|-------------|
| Tabela 1 – Efeito da temperatura ambiente sobre os seres humanos..... | 26 |
| Tabela 2 – Limites de IBUTG (°C), de acordo com a intensidade de atividade, com descanso no mesmo local de trabalho | 30 |
| Tabela 3 – Critérios de ruído dB(A), e tempo de exposição estabelecidos para o Brasil | 38 |
| Tabela 4 – Análise granulométrica, classificação textural, densidade e umidade das amostras do solo das áreas 01 e 02..... | 54 |
| Tabela 5 – Taxa de metabolismo por tipo de atividade | 61 |
| Tabela 6 – Limites de tolerância, para exposição ao calor (BUTG, °C), em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço (NR-15) | 62 |
| Tabela 7 – Critérios de ruído e tempo de exposição, estabelecidos para o Brasil, (NR- 15) | 63 |
| Tabela 8 – Classificação da carga física de trabalho..... | 67 |
| Tabela 9 – Classificação da carga física de trabalho (CCV, %) do operador durante sua atividade na realização da operação do preparo periódico do solo no trator sem cabine | 75 |
| Tabela 10 – Classificação da carga física de trabalho (CCV, %) do operador durante sua atividade na realização da operação do preparo periódico do solo no trator com cabine | 82 |
| Tabela 11 – Adequação amostral de acordo com Kaiser-Meyer-Olkin..... | 91 |
| Tabela 12 – Classificação do índice de conforto operacional (ICO) | 93 |
| Tabela 13 – Testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e de esfericidade de Bartlett..... | 94 |
| Tabela 14 – Percentual da variação total explicada pelas componentes principais - (CP) | 96 |
| Tabela 15 – Correlação entre cada componente principal e as variáveis aferidas durante o preparo periódico do solo para o cultivo da cana-de-açúcar..... | 97 |
| Tabela 16 – Modelos lineares múltiplos representativos das operações de aração, gradagem e sulcagem no cultivo da cana-de-açúcar (Usina Petribu, Carpina PE | 99 |
| Tabela 17 – Teste t para as variáveis que contemplam o modelo selecionado..... | 100 |
| Tabela 18 – Raiz do erro quadrado médio (RMSE), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r) e índice de confiança (c) | 101 |

EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL TERMOACÚSTICO A OPERADORES DE TRATORES AGRÍCOLAS

RESUMO

A operação de tratores agrícolas expõe o operador a uma condição de insalubridade ocupacional que exerce efeito prejudicial, não só ao conforto, como também, à saúde e ao seu rendimento. Essa pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar os níveis de exposição ocupacional ao estresse térmico e acústico, presente na plataforma de trabalho de operadores de tratores agrícolas, com cabine (ar condicionado) e sem cabine, durante o preparo periódico do solo para o cultivo de cana-de-açúcar e formular modelo matemático multivariado do índice de conforto operacional. A pesquisa foi conduzida em áreas de cultivo de cana-de-açúcar da Usina Petribu, localizada no município Carpina, PE. Foram utilizados tratores acoplados a implementos utilizados nas operações de aração, gradagem e sulcagem. Os registros de dados na plataforma e cabine de trabalho do operador foram: a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); a temperatura de globo negro ($^{\circ}\text{C}$); a umidade relativa do ar (%); a frequência cardíaca do operador (bpm); a temperatura de superfície da pele do operador ($^{\circ}\text{C}$); o ruído dB(A) e a velocidade do ar (m s^{-1}), registrados a cada 10 s, por meio de instrumentação específica, com registro automático de dados. O preparo periódico do solo foi realizado em uma área de 8,4 ha, para uma jornada de trabalho diária de oito horas (8h às 17h, com 1h de intervalo para refeição), para cada operação, nos respectivos modelos de trator, sem cabine (4,3 ha) e com cabine (4,1 ha) executadas pelo mesmo operador. Para caracterizar a magnitude da exposição térmica do operador, foi determinado o índice de bulbo úmido e termômetro de globo (IBUTG). Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva e exploratória pela técnica de componentes principais. A elaboração do modelo de predição do índice e conforto operacional (ICO) foi realizada por meio de análise de regressão linear multivariada. A utilização do trator sem cabine apontou insalubridade residual por ruído em todas as operações, o que permite ao operador uma jornada de trabalho diária de apenas 4 horas. Os demais indicadores de estresse termoacústico e carga física de trabalho, para o trator sem cabine e com cabine, sinalizaram valores aceitáveis para uma jornada de trabalho diária de 8 horas. Os indicadores termoacústicos, ruído, umidade relativa do ar e temperatura da superfície da pele da cabeça do operador, permitiram a elaboração de modelo matemático multivariado, representativo do ICO (índice de conforto operacional). A validação do ICO alcançou ótimo desempenho, com base nos altos valores de concordância e confiança, o que

permite sua utilização para caracterizar a carga física de trabalho e a insalubridade operacional de operadores de tratores agrícolas, no preparo periódico do solo para o cultivo de cana-de-açúcar.

Palavras chave: conforto humano, ergonomia, ruído, segurança ocupacional, termografia

TERMOACÚSTIC OCCUPATIONAL EXPOSURE TO OPERATORS OF AGRICULTURAL TRACTORS

ABSTRACT

The operation of agricultural tractors exposes the operator to a condition of occupational insalubrity that has a detrimental effect not only on comfort but also on health and income. This research was conducted with the objective of evaluating the occupational exposure levels to thermal and acoustic stress, present in the work platform of agricultural tractors operators, with ergonomic cabin (air conditioning) and without ergonomic cabin, during periodic soil preparation for the cultivation of sugarcane and to formulate a multivariate mathematical model of the occupational comfort index. The research was carried out in areas of sugarcane cultivation of the Petribu Plant, located in Carpina, PE. Tractors coupled to implements used in plowing, harrowing and furrowing operations were used. Data logging on the operator's work platforms were air temperature ($^{\circ}\text{C}$), black globe temperature ($^{\circ}\text{C}$), relative air humidity (%), operator heart rate (bpm), temperature of the operator's skin surface ($^{\circ}\text{C}$), noise, dB (A) and air velocity (m s^{-1}), recorded every 10 s, by means of specific instrumentation, with automatic data recording. The soil was periodically prepared in an area of 8.4 ha, for a daily working day of eight hours (8 a.m. to 5:00 p.m., one hour of meal break) for each operation, in the respective tractor models, without a cab (4.3 ha) and with ergonomic cabin (4.1 ha), executed by the same operator. To characterize the magnitude of the thermal exposure of the operator, the wet bulb index and globe thermometer (WBT) were determined. Data were submitted to descriptive and exploratory statistical analysis using the principal components technique. The elaboration of the operational comfort Index (ICO) prediction model was performed through multivariate linear regression analysis. The use of the tractor without ergonomic cab pointed out residual unhealthy noise in all operations, which allows the operator a daily working day of only 4 hours.

The other indicators of thermoacoustic stress and physical work load, for the tractor without cabin and with ergonomic cabin, indicated acceptable values for a daily working day of 8 hours. The thermoacoustic indicators, noise, relative air humidity and skin surface temperature of the operator's head allowed the elaboration of a multivariate mathematical model, representative of ICO. The validation of the ICO achieved an excellent performance, based on the high values of agreement and confidence, which allows its use to characterize the physical work load and occupational insalubrity of agricultural tractor operators, in the periodic preparation of the soil for sugarcane cultivation.

Keywords: human comfort, ergonomics, noise, occupational safety, thermography

INTRODUÇÃO GERAL

A segurança ocupacional de operadores de máquinas agrícolas demanda esforços multidisciplinares de pesquisadores e projetistas voltados à identificação de pontos críticos de controle com ênfase na atenuação de agentes estressores (psíquicos e físicos), provenientes da interação operador trator agrícola.

Esses agentes estressores têm chamado a atenção da Organização Mundial de Saúde (OMS), para identificação e quantificação de níveis de estresse térmico e sonoro a que os operadores se expõem em jornada de trabalhos no campo, para minimização de interferências na segurança, no conforto e na eficácia do trabalho (WISNER, 1998; RINALDI et al., 2008).

O efeito da temperatura do ar muito elevada ou muito baixa, alto índice de ruído presentes no local de trabalho (plataforma do operador), no trator agrícola, quando em funcionamento, depreciam não só o conforto térmico e acústico, como também à saúde e o rendimento do operador. Os limites de exposição a esses agentes estressores são normatizados e apresentam legislação específica para ruído (Anexo nº 1) e calor (Anexo nº 3), todas vigentes na norma regulamentadora (NR-15), do Ministério do Trabalho e do Emprego (2011).

A exposição prolongada de operadores de máquinas agrícolas a alta temperatura do ar, prejudica processos de dissipação de energia por meios sensíveis e exige maior esforço fisiológico para compensação por perda latente para manutenção da homeotermia (SEELING et al., 2010). Porém, se houver persistência no quadro de estresse térmico, tanto na magnitude quanto na duração do evento, principalmente em ambientes abertos e com sol, é possível que o indivíduo apresente sintomas de irritabilidade, fraqueza, depressão, ansiedade e incapacidade para se concentrar. Segundo os mesmos autores, o homem apresenta melhor qualidade de vida e saúde quando trabalha sem ser submetido à fadiga resultante do estresse, de forma que o equilíbrio é atingido quando o corpo consegue dissipar energia térmica na mesma proporção que produz e, em alguns casos, recebe do ambiente.

Em condição de estresse, o desempenho cognitivo, responsável pela percepção e controle das ações motoras e físicas é afetado diretamente, o que pode influenciar na motivação e, conseqüentemente, na produtividade do operador. A produtividade é função da satisfação, que é influenciada pelo bem-estar físico do trabalhador. Logo, o conforto térmico é um fator preponderante para se obter qualidade de vida no trabalho (GOSLING, 2008).

Os principais mecanismos de defesa do organismo humano, quando submetido ao estresse térmico intenso são a vasodilatação periférica e a sudorese. Quando a quantidade de calor que o corpo dissipa por condução, convecção ou radiação é menor que a produção e conservação de energia interna, a primeira ação corretiva que se processa no organismo é a vasodilatação periférica e, portanto, maior exigência da musculatura cardíaca, que implica em um maior fluxo de sangue na superfície do corpo e aumento da temperatura da pele.

Essas alterações resultam no aumento da quantidade de calor perdido, sendo que o fluxo sanguíneo no organismo humano transporta calor do núcleo do corpo para a superfície, onde ocorrem as trocas térmicas.

Outro mecanismo de defesa do organismo é a sudorese. O número de glândulas sudoríferas ativadas é diretamente proporcional ao desequilíbrio térmico existente. A quantidade de suor produzido pode, em curtos períodos, atingir até dois litros por hora, embora, em um período de várias horas, não exceda a um litro por hora. A taxa de sudação de um litro por hora permite a dissipação de até 600 Kcal h⁻¹ para o ambiente. Se o aumento do fluxo de sangue na pele e a produção de suor forem insuficientes para promover a perda adequada de calor, ou se estes mecanismos deixarem de funcionar apropriadamente, isso pode acarretar a fadiga fisiológica. Segundo Poletto Filho (2013), uma sobrecarga térmica leve ou moderada pode causar desconforto e afetar negativamente o desempenho e a segurança, mas não é prejudicial à saúde. Quando a sobrecarga térmica se aproxima dos Limites de Tolerância humanos, aumenta o risco de danos à saúde relacionada ao calor. As principais doenças causadas pelo estresse térmico: exaustão; desidratação; câimbras e choque térmico.

Além do ambiente térmico, o ruído pode ser considerado um dos principais fatores ergonômicos que prejudicam os operadores de máquinas (CUNHA e TEODORO, 2006). O ruído é um complexo de sons que causam sensação de desconforto e está presente de forma contínua na vida diária dos seres humanos (KROMER e GRANDJEAN, 2005). É um agente físico insalubre presente em mais de 90% das atividades laborais existentes. Nas operações com trator é um dos principais riscos que o operador está exposto (TOSIN, 2009).

Os operadores de máquinas exposto a níveis de ruído fora do limite máximo recomendado pela NR-15, de 85 dB(A) por jornada de trabalho de oito horas diárias, estão sujeitos a sérios problemas de saúde tais como: perda auditiva total ou parcial; dilatação da pupila; aumento da produção de hormônio da tireoide; aumento do ritmo do

batimento cardíaco; aumento da produção de adrenalina, corticotrofina e cortisol; contração do estômago e abdômen; reação muscular; contração de vasos sanguíneos, entre outros (MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO, 2010).

Nas últimas décadas, têm-se registrado significativo aumento nas condições de insalubridade, especialmente em posto de trabalho no setor agrícola. Os agentes estressores causam efeitos verdadeiramente adversos, merecendo também, maior atenção dos órgãos de pesquisa e de fiscalização.

OBJETIVO GERAL

Essa pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar os níveis de exposição ocupacional ao estresse térmico e acústico, presente no posto de trabalho de operadores de tratores agrícolas com cabine e (ar condicionado) e sem cabine, durante o preparo periódico do solo para o cultivo de cana-de-açúcar.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar se existe insalubridade à exposição aos parâmetros estudados nas atividades no preparo periódico do solo, de acordo com a Norma Regulamentadora, NR-15, do Ministério do Trabalho e do Emprego, 2011;
- Avaliar quais variáveis medidas são representativas dos problemas em questão, a partir da análise de componentes principais;
- Formular modelo matemático multivariado com base na pertinência dos parâmetros insalubres estudados;
- Propor um índice de conforto operacional e estabelecer o limite de tolerância do operador no decorrer da jornada de trabalho.

REVISÃO DE LITERATURA

1. Ergonomia

O termo ergonomia foi usado pela primeira vez no ano de 1857, pelo polonês W. Jastrzebowski, que publicou estudo baseado nas leis objetivas da ciência da natureza. No entanto, ela remonta ao homem pré-histórico na construção das primeiras

ferramentas e utilidades, embora o crescimento dessa ciência esteja diretamente relacionado ao desenvolvimento da tecnologia e, como tal, ao início da revolução industrial no final do século XIX e início do século XX (SOARES, 2004).

A ergonomia foi efetivamente criada em 1949, dia em que se reuniram na Inglaterra cientistas, pesquisadores e engenheiros interessados em discutir esse novo ramo de aplicação interdisciplinar da ciência, que na época não era difundido (IIDA, 2005).

A Associação Brasileira de Ergonomia define ergonomia como a ciência das interações das pessoas com a tecnologia, a organização e o ambiente, objetivando melhorar processos e projetos de forma não dissociada, integrada à segurança, conforto e bem-estar das atividades de trabalho humano (ABERGO, 2019).

Portanto, a ergonomia é um estudo multidisciplinar (que envolve noções de psicologia, fisiologia e biomecânica), pelo qual estuda as características do homem com o objetivo de adaptar as tarefas e as ferramentas de trabalho às suas necessidades e capacidades (SHERIQUE, 2004). Iida (2005) ampliou a abrangência da ciência e afirma que os conhecimentos de ergonomia abrangem as áreas da filosofia, psicologia, toxicologia, física, matemática, antropometria, sociologia, engenharias, entre outras. Todas elas têm como objetivo melhorar a eficácia do processo, que abrange tanto os executados com máquinas, quanto às situações que relacionam o trabalhador com sua atividade, com ênfase na produtividade, no conforto e no bem-estar, para execução de tarefas realizadas pelos trabalhadores.

2. Trator agrícola

O trator agrícola é uma máquina autopropelida provida de meios que, além de lhe conferirem apoio estável sobre uma superfície horizontal impenetrável, é projetada com o objetivo de fornecer potência mecânica, para movimentar os órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas, tornando a tarefa do produtor rural menos árdua, aumentando a produção e a produtividade agrícola, melhorando a eficiência e a qualidade do trabalho no campo (GALETI, 1981; MIALHE, 1997 e GENZ, 2009).

O projeto dos tratores agrícolas, até pouco tempo, era focado na sua maximização e eficiência, em detrimento do fator humano. No entanto, segundo Alves (2006), devido ao aumento no rigor das normas de segurança no trabalho, atualmente há tendências para aprimorar as condições de ergonomia e segurança para o operador, visando

melhorar as condições de trabalho, diminuir o nível de fadiga e desconforto e reduzir o risco de acidente.

2.1 Preparo periódico do solo

A motomecanização agrícola é de fundamental importância na agricultura. As operações de preparo de solo, plantio, tratos culturais, adubação, pulverização e colheita, além de outras práticas que até então eram realizadas somente por trabalho manual ou a tração animal, hoje, são também realizadas com a ajuda de conjuntos compostos por tratores, máquinas e implementos agrícolas, que permite ao produtor maior produtividade e o cultivo em grandes áreas (SALVADOR et al., 2008).

O preparo periódico do solo é o nome dado ao conjunto de operações realizadas com equipamentos mecânicos, visando oferecer condições favoráveis à sementeira, germinação, desenvolvimento e produção das plantas cultivadas (GALETI, 1981; MIALHE, 1981; SALVADOR et. Al., 2008).

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é a principal cultura cultivada no Brasil para a produção de etanol e açúcar, sendo classificada como uma importante fonte de renda, com geração de empregos e desenvolvimento (CAMARGO et al., 2010; KIRUBABAKARAN et al., 2013). O estado de Pernambuco é responsável pelo cultivo de 260,1 mil ha, o que representa 2,9% da área cultivada no Brasil, o que demanda grande número de máquinas, equipamentos e mão de obra humana, dentre elas, o operador de trator (CONAB, 2015).

Para o cultivo da cana-de-açúcar é necessária à realização de algumas práticas de preparo do solo, com o trator como fonte de potência, grades aradoras (revolvimento do solo), grades niveladoras destorroadoras (nivelamento e incorporação de restos de culturais) e, eventualmente, subsoladores para descompactar o solo (COOPERB, 2008).

A mecanização agrícola é essencial à agricultura, no entanto, durante sua prática os operadores de tratores, ainda se expõem a agentes de estresse, que deprimem sua eficiência de trabalho. O operador fica exposto a diversos fatores insalubres tais como: vibrações; poeira; calor e/ou frio; insetos; gases de exaustão do motor; insolação; ruído e defensivos agrícolas, colocando em risco a sua saúde física e mental (SHERIQUE, 2011). Devem ser considerados os riscos oriundos dos agentes físicos, químicos e biológicos existentes nos ambientes de trabalho, que, em função de sua natureza, concentração ou intensidade e tempo de exposição, são capazes de causar danos à saúde do trabalhador.

3. Estresse Térmico

Em ambientes quentes ou durante a execução de exercícios físicos ocorre aumento da temperatura do corpo (SCHLADER et al., 2010). No entanto, para que essa temperatura não atinja níveis perigosos, os receptores da pele verificam o diferencial entre o corpo e o ambiente e informam ao hipotálamo, que por meio de vários estímulos nervosos (centrais e periféricos), como a temperatura do sangue, pressão arterial e nível de atividade metabólica, controlam os mecanismos de vasodilatação, permitindo que maior quantidade de sangue percorra os vasos superficiais, aumentando assim, a temperatura da pele e propiciando maior dissipação do calor por convecção e radiação (Figura 1).

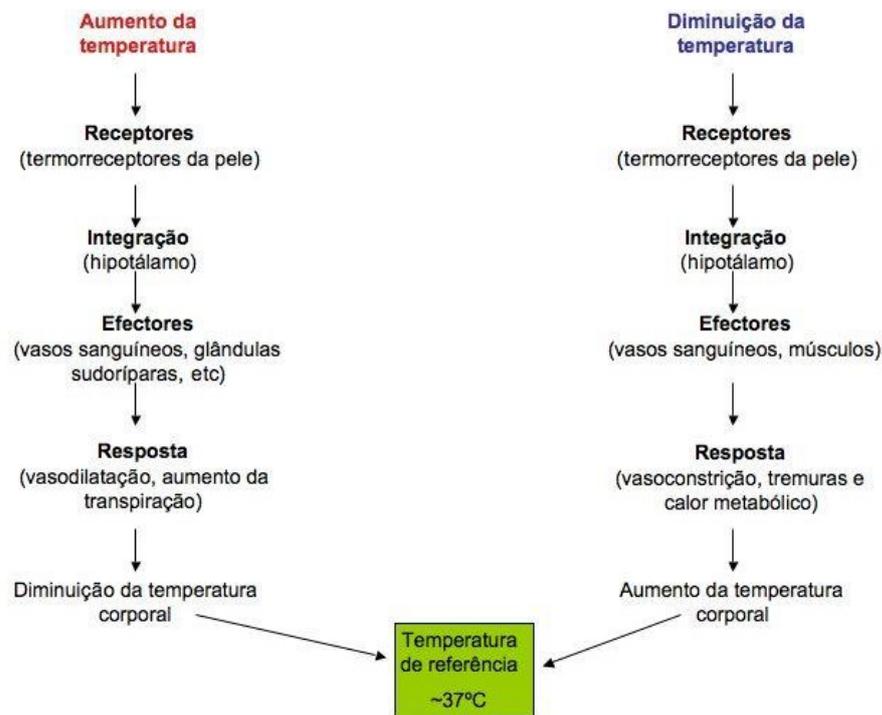


Figura 1 - Variação da temperatura da pele em função da flutuação da temperatura ambiente em um corpo saudável, sem vestimenta.

A dilatação dos vasos sanguíneos da pele pode aumentar o fluxo de sangue periférico em até quinze vezes (de 1,7 mL/s. m² em descanso confortável para 25 mL/s. m² em calor extremo). Neste caso, a sudação é o mecanismo fundamental para intensificar a perda de calor para o ambiente. Quando a temperatura do corpo cai, a vazão de sangue na pele é reduzida para conservar calor no corpo, o efeito de vasoconstrição máxima é equivalente ao efeito isolante de um casaco pesado. A atividade mais importante no comprometimento da estabilidade térmica, comandada por

fatores endógenos, é a atividade muscular. Kromer e Grandejean (2005) afirmam que a atividade física, através de exercícios, aumenta consideravelmente a produção de calor.

Em condições de temperaturas internas muito menores que a de referência (36,5 °C), a tensão muscular aumenta para gerar calor adicional em regiões em que os grupos de músculos se opõem, esta tensão pode aumentar para gerar tremores visíveis (calafrios). Os tremores podem duplicar a produção de calor em relação à condição de descanso (PASCOE et al., 2008; CHARKOUDIAN, 2010; SOUSA, 2014).

A exposição prolongada a altas temperaturas e umidade do ar no local de trabalho, podem colocar os trabalhadores em risco. Trabalho combinado à atividade física intensa eleva o risco de estresse por calor, porque dificulta o alcance do equilíbrio térmico. O metabolismo exige que uma maior quantidade de calor seja dissipada. Desta forma, profissionais que exercem suas atividades laborais em ambientes muito quentes enfrentam problemas de ordem fisiológica, que podem comprometer o desempenho de suas atividades e, ainda, serem acometidos por sérios riscos térmicos inclusive, a morte (JAY, 2010).

O armazenamento de calor e a consequente elevação da temperatura de núcleo corporal acarretam a incidência de doenças térmicas, em especial, a exaustão térmica e o EHS (Exertional Heart Stroke), duas formas de insolação que atingem tanto atletas como trabalhadores expostos a situações de estresse térmico (GAMBRELL, 2002).

O estresse térmico enquadra-se no estado em que tanto o sistema fisiológico quanto o sistema psicológico são afetados pela temperatura do ambiente. Quando a temperatura do ar se encontra em níveis extremos provocam efeitos como irritabilidade, aumento da agressividade, distração, erros, desconforto devido à transpiração e/ou tremores, aceleração ou desaceleração da pulsação e causa efeitos negativos na saúde do trabalhador (ALONSO et al., 2011).

3.1 Variação da temperatura da pele

A pele funciona como interface entre o sistema termodinâmico biológico e o ambiente. As condições externas e internas são ajustadas por esse órgão de forma a compensar as demandas fisiológicas do corpo. A pele é um órgão fundamental na manutenção da temperatura de núcleo corporal dentro de uma faixa de normalidade de 36,1 a 37,8°C, para resguardar as funções vitais do organismo (CAMPBELL, 2011).

Se uma pessoa for exposta ao ar seco sem vestimenta, a 13 ou 54°C a sua temperatura central permanece quase constante, com uma tolerância de $\pm 0,8^\circ\text{C}$, salvo

em estado febril. A temperatura cutânea por outro lado, varia com a temperatura do ambiente, pois a pele perde calor por meios sensíveis, condução, convecção, radiação e latente, por evaporação (GUYTON, 2001).

A temperatura nos membros, nos músculos e, especialmente na pele (periférica), sofre variações durante 24 horas, devido a fatores como a influência da temperatura ambiente, da atividade física, da vestimenta, das alterações emocionais, dos processos patológicos e do ritmo circadiano (SOUSA, 2014). As variações no ritmo circadiano determinam as modificações na troca de calor por convecção e radiação entre o corpo e o ambiente, por meio da termorregulação. Na Tabela 1, observam-se os efeitos da variação da temperatura do ar no corpo humano.

Tabela 1 – Efeito da temperatura ambiente sobre os seres humanos

| Temperatura do ar (° C) | Ocorrências |
|-------------------------|--|
| 49 | Tolerância por cerca de uma hora |
| 29 | Diminuem as atividades mentais, reações lentas e aparecimento de erros |
| 24 | Início da fadiga física |
| 18 – 24 | Limite de conforto no verão |
| 10 | Começa o enrijecimento das extremidades |

Adaptado de W. E. Woodson. Human Engineering Guid for Equipment Designers. University of Califórnia Los Angels, (2008).

3.2 Efeito do estresse térmico na saúde humana

Segundo a *Ocupacional Safety and Health* (Administração de Saúde e Segurança Ocupacional – OSHA, 2006) o sol contém radiação ultravioleta (UV), que provoca envelhecimento precoce, câncer de pele, rugas, catarata, entre outros problemas de saúde. A elevada temperatura combinada à alta umidade do ar torna seus efeitos mais preocupantes à saúde durante os meses de verão, especialmente para aqueles que exercem atividades laborais em ambientes externos (SOUZA, 2014).

Destaca-se ainda, outras patologias originárias da exposição excessiva ao calor, tais como a desidratação, a hipertermia, a inflamação das glândulas sudoríparas, a alteração comportamental, além de choque térmico, hiperpirexia, síncope, exaustão, câimbras, erupção, fadiga e tensão (COSTA et al., 2011).

Ritmos metabólicos altos somados a exposição à radiação ultravioleta e a exposição ao calor, podem provocar desequilíbrio térmico, que resulta no aumento da

temperatura do corpo. Temperatura corporal de até 39,5°C pode ser tolerada por curto espaço de tempo. Além desse valor, a sobrecarga térmica ameaça o sistema nervoso central. Quando a temperatura corporal atinge 41°C, o sistema de regulação entra em colapso, vários tecidos do organismo sofrem mudanças irreversíveis, particularmente o cérebro. Aos 43°C, a morte se torna inevitável (IIDA, 2003). A Figura 2 mostra como se comporta um corpo sem vestimenta em função da variação da temperatura na pele.

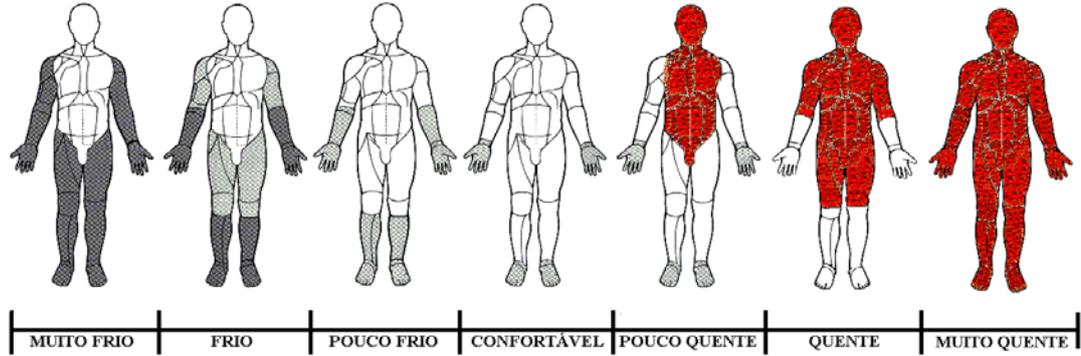


Figura 2 – Variação da temperatura na pele em função da variação de temperatura ambiente, em um corpo sem vestimenta (SOUZA, 2014).

O desequilíbrio entre a quantidade de calor absorvido do ambiente com o aumento da temperatura do corpo pode influenciar a produção metabólica de calor emitido pelo corpo, que ocorre durante mudanças no calor metabólico induzido pela atividade física (FISHER, 1999). Segundo Costa (2012), o aumento da temperatura corporal pode ser influenciado, também, pela exposição ao ambiente mais quente. O funcionamento inadequado de um ou mais sistemas do corpo, acompanhado pela contaminação e/ou infecção, resulta em estado febril, que também pode influenciar o aumento da temperatura corporal (RING, 1998). Verifica-se na Figura 3, como o corpo humano responde do ponto de vista fisiológico, a situações de temperaturas extremas, muito altas e muito baixas (LAMBERTS, 2012).

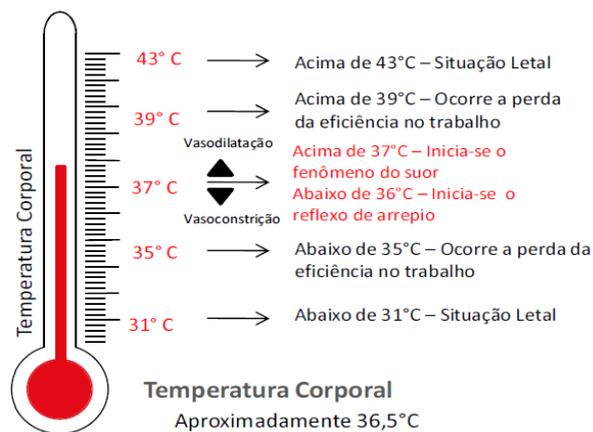


Figura 3 - Respostas fisiológicas do corpo humano a situações de temperaturas extremas, muito altas e muito baixas.

4 Produtividade e o ambiente térmico

A produção dos trabalhadores tem relação com a temperatura do ar. A inclinação de Indivíduo para a execução de trabalho mental tende a diminuir em ambiente com temperatura elevada. Isto ocorre devido à insônia atribuída ao calor (LEITE, 2002).

O homem pertence à classe dos animais homeotérmicos (sangue quente), possui mecanismos de regulação térmica para aumentar a temperatura do corpo, para deixá-la aproximadamente constante, em torno de 37 °C. A sensação térmica sentida por um indivíduo é influenciada também, pelo grau de umidade do ar e pela velocidade do vento e não apenas pela temperatura externa (IIDA, 2003).

O superaquecimento de um sistema termodinâmico biológico gera cansaço e sonolência, além de reduzir o desempenho físico (KROEMER et al., 2005). O rendimento diminui, a velocidade de trabalho cai, as pausas se tornam mais frequentes, o grau de concentração diminui e a frequência de erros e acidentes tende a aumentar significativamente, principalmente, a partir de 30 °C (IIDA, 2003).

O aparecimento de sintomas de fadiga por sobrecarga física depende do esforço, da duração do trabalho e das condições individuais (saúde, nutrição e condicionamento) decorrentes da atividade. Quando a fadiga aumenta, o ritmo de trabalho diminui, reduz-se a atenção e a rapidez de raciocínio, tornando o trabalhador menos produtivo e mais suscetível a erros e aos acidentes (LOPES et al., 2011). Em estudos realizados na Europa, os resultados mostram que, no verão, que ocorre nos meses de julho, agosto e setembro, a produtividade do trabalhador atinge os menores valores e à medida que a temperatura externa diminui, a produtividade aumenta (SOUSA, 2014).

4.1 Variáveis humanas

São consideradas variáveis humanas, o metabolismo e a resistência térmica das vestimentas. O homem produz a energia necessária para a manutenção de suas funções vitais através do processo metabólico de degradação dos alimentos. Devido ao consumo de oxigênio, esse processo pode ser comparado à queima lenta de combustível. A maior quantidade de energia que o metabolismo produz converte-se em energia térmica, logo a parcela mecânica pode ser desprezada, considerando-se então, o calor metabólico igual à taxa de metabolismo (SOUSA, 2014). O metabolismo humano está diretamente relacionado com o nível de atividade exercida, idade e a temperatura do ar (RUAS, 2001).

Segundo Leite (2002), a resistência térmica das roupas é dependente do material, da espessura do tecido e do tipo de vestimenta, responsável pela resistência imposta às trocas de calor entre a pele e o ambiente.

4.2 Índice de conforto térmico

No Brasil, a Norma Regulamentadora (NR - 15), em seu anexo 03 da portaria 3214/78 do Ministério do Trabalho e do Emprego (Segurança e Medicina do Trabalho, 2006) prescreve o uso do índice de bulbo úmido termômetro de globo - IBUTG (YAGLOU, 1957) para avaliação da exposição ao calor.

A utilização do IBUTG na definição de regime de trabalho tem como objetivo minimizar, controlar ou eliminar as consequências danosas à saúde ocupacional que a exposição a condições térmicas insalubres pode vir a provocar aos trabalhadores. Também é com esse índice que se avalia o direito do trabalhador a percepção do adicional de insalubridade, se o exercício do trabalho se processar acima dos limites de tolerância previstos na NR-15. Trata-se do índice mais comum para se avaliar estresse térmico, tanto em ambiente internos quanto em ambientes externos (MORAN et al., 2001), sendo o mais utilizado no mundo (BUDD, 2008).

A vestimenta e o material da qual a mesma é confeccionada, influência na troca de calor entre o corpo e o ambiente. Porém, não se encontra na NR-15 nenhuma recomendação a respeito das atividades em que é necessária a utilização de vestimentas especiais. Qualquer que seja a vestimenta utilizada na realização de uma tarefa, a contribuição desta à dissipação de calor deve ser levada em consideração na avaliação da sobrecarga térmica (NR-15, 2011).

O conforto térmico, gerido pelo sistema regulador, que mantém o equilíbrio térmico do corpo humano pode sofrer influências de fatores como a taxa de metabolismo, o isolamento térmico da vestimenta, a umidade relativa do ar, a temperatura do ar, a velocidade do ar e a temperatura radiante média. A combinação desses fatores é a principal determinante da sensação de conforto ou desconforto térmico, sendo os dois primeiros parâmetros chamados de variáveis pessoais e as demais, variáveis ambientais, conforme ISO 7730/94.

O IBUTG funciona como um indicador, englobando tanto fatores causadores de sobrecarga térmica (alta temperatura, metabolismo, calor radiante e alta umidade relativa do ar) quanto seus atenuadores (ventilação do ambiente, baixa umidade relativa do ar e baixa temperatura) (NR-15 anexo 3, 2011).

4.3 Monitoramento térmico ocupacional

Para a avaliação do estresse térmico se faz necessário à medição das variáveis ambientais que compõem o local, para isto é necessário o emprego de diversos sensores que irão mensurar essas variáveis. Utilizar sensores individualmente pode levar a pouca precisão dos dados, além da dificuldade no registro dos mesmos. Assim, existem diversos equipamentos que buscam agrupar os sensores e facilitar a coleta de dados (SOUSA, 2014).

A determinação do IBUTG necessita de sensores para o registro da temperatura de bulbo seco; temperatura de bulbo úmido; e temperatura de globo negro. O termômetro de globo negro é o instrumento mais comum para se mensurar a temperatura média radiante (ALFANO et al., 2013).

4.4 Aferição da taxa metabólica

No anexo de nº 3 da (NR-15), encontra-se a tabela que corresponde a quatro classes com metabolismo diferenciadas em função do tipo de atividade exercida, como o repouso, a atividade leve, a moderada e a pesada.

Na análise do estresse térmico pela NR-15, toma-se como referência a Tabela 2. Essa tabela fornece os limites máximos do IBUTG, além de determinar o tempo de descanso por hora trabalhada, ou a necessidade de mudanças no ambiente.

Tabela 2 – Limites de IBUTG (°C), de acordo com a intensidade de atividade, com descanso no mesmo local de trabalho

| Regime de Trabalho/hora | Tipo de Atividade | | |
|---|-------------------|---------------|---------------|
| | Leve | Moderada | Pesada |
| Trabalho contínuo – 60 min. | Até 30,0 | Até 26,7 | Até 25,0 |
| 45 min. Trabalho – 15 min. Descanso | 30,1 a 30,6 | 26,8 a 28,0 | 25,1 a 25,9 |
| 30 min. Trabalho – 30 min. Descanso | 30,7 a 31,4 | 28,1 a 29,4 | 26,0 a 27,9 |
| 15 min. Trabalho – 45 min. 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 – Anexo 3 (BRASIL, 2011).

5 Termografia por infravermelho

A termografia por infravermelho consiste numa técnica de avaliação não destrutiva e não invasiva de temperatura de uma superfície por meio de imagem gerada

pela radiação térmica por infravermelho, emitida pela superfície de diferentes tipos de materiais (MALDAGUE, 2001; CASTANEDO, 2005; TAVARES, 2006). Todo objeto com temperatura acima de $-273,15^{\circ}\text{C}$ (0 K, zero absoluto) emite radiação infravermelha de sua superfície. Este comprimento de onda é invisível. No entanto, dependendo de sua intensidade é percebida como calor pelo corpo humano por meio de termorreceptores, (SOUZA, 2014).

Os valores de energia de uma superfície estão correlacionados com a temperatura da mesma. O corpo humano emite onda longa com aproximadamente 120 W, porém, invisível. Segundo a lei de Stephan-Boltzman, o fluxo de energia radiante emitido por área é dado pela Equação (1):

$$W = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (1)$$

em que: W - fluxo de energia radiante emitido por superfície de área W/m^2 ; ε - emissividade que corresponde a 0,98; σ - constante de Stephan-Boltzman ($5,6697 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$); T - temperatura cutânea em Kelvin (K).

A energia total emitida por uma superfície por unidade de tempo é diretamente proporcional à área do objeto, a emissividade e à quarta potência (T^4) de sua temperatura absoluta. Possibilitando fazer então, medições de temperatura a partir de aferições da energia emitida. Segundo a lei de Plank, o corpo tem alta emissividade infravermelha, maior que 97,8%, portanto a radiação infravermelha emitida pode ser convertida em temperatura, independentemente da cor da pele (ARCHER et al., 1984).

Segundo Villaseñor-Mora et al., (2009), a emissividade é uma medida da eficiência da radiação de absorção superficial. Logo, valores errôneos de emissividade podem modificar o registro da temperatura da pele. Segundo os mesmos autores, a emissividade da pele humana depende de vários parâmetros tais como a temperatura, a umidade, a gordura e a rugosidade.

5.1 Imagens termográficas por infravermelho

O processo de registro de imagens termográficas é realizado por meio de instrumentos capazes de converter energia emitida pela superfície dos materiais em imagens térmicas. São compostos basicamente por sensores ou detectores de radiação, amplificadores de sinais e um processador. Os detectores obtêm as imagens convertendo-as em sinais elétricos. Esses sinais normalmente são baixos e proporcionais ao fluxo de radiação, por isso são amplificados, lidos e processados por meio de “*softwares*” e são transformados em imagens térmicas ou termogramas (SALES, 2008).

Uma paleta de cores acompanha todas as imagens indicando as regiões mais aquecidas pelas cores branca e vermelha e as áreas mais frias pelas cores azuis e pretas.

Segundo o mesmo autor, a avaliação pode ocorrer de duas maneiras, de forma quantitativa, pela diferença de temperatura média entre áreas pré-selecionadas, regiões de interesse ou, de forma qualitativa, pelo padrão de distribuição de temperatura cutânea em determinada região, denominada de mapa térmico.

A termografia por infravermelho registra a distribuição da temperatura sem a necessidade de contato com a pele, sendo possível visualizar não somente uma região do corpo (análise local) de interesse específico, como também uma visão ampla de todo o processo de termorregulação atuante, o que permite uma visão global para a avaliação no estudo, mantendo, assim, seus movimentos de forma natural durante o trabalho (MARTINS, 2011).

A técnica da termografia por infravermelho facilita a compreensão dos complexos sistemas de perda de calor que atuam durante e após esforços (HILDEBRANT, 2010). São importantes também, para análises e pesquisas em fisiologia na produção e dissipação de calor (VAINER, 2005; FERREIRA et al., 2008). Na Figura 4 verifica-se o registro por termovisor para aferição da temperatura da face.

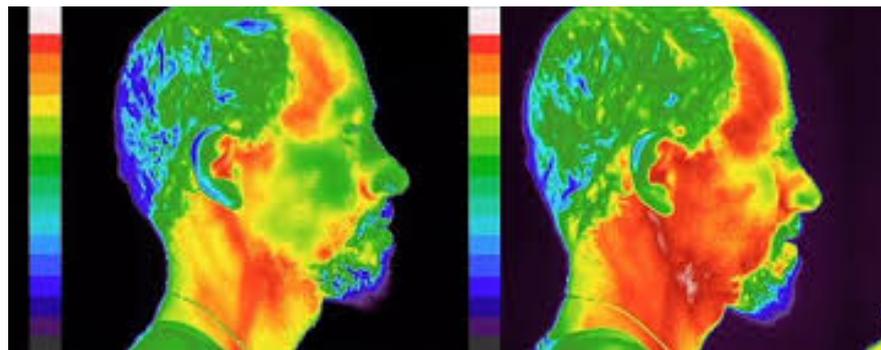


Figura 4 – Imagem da pele registrada por termovisor para aferir a temperatura da face

6 Indicativo de estresse térmico na operação de máquinas agrícolas

O conforto térmico do operador de tratores agrícolas em operações executadas a céu aberto, com carga solar em trator sem cabine, é considerado insalubre em função do calor sofrido pelo mesmo, além da má programação de horário de descanso e utilização de vestimenta que possa dificultar os processos de intercâmbio térmico entre o operador e o ambiente (SANTOS et al., 2004).

Entre as fontes causadoras de estresse nos operadores de tratores agrícolas, destaca-se a exposição ao calor, sendo que a intensidade e o tempo de exposição a esse fator, afeta seu desempenho (CARVALHO, 2009).

A temperatura média de membros do operador (face, mão, braços e pernas), apresentou diferenças significativas quanto à variação na temperatura da pele do mesmo entre as operações realizadas com tratores com capota e tratores sem capota, apenas nos horários do meio dia e ao final da tarde (SOUZA, 2014).

O mapeamento de estresse térmico traz à tona uma das questões problemáticas dos nossos canaviais, em que diversas atividades laborais estão ocorrendo em condições de estresse térmico, ou até mesmo proibidas, pela legislação nacional vigente. Estes mapas podem representar um ponto de partida para futuras melhorias e indicar os caminhos mais eficientes para se combater a realização de atividades laborais em condições insalubres (BRANDÃO, 2012).

6.1 Estresse sonoro (Ruído)

As condições de saúde auditiva no ambiente de trabalho tem sido objeto de estudos no campo da saúde pública, uma vez que a exposição a elevados níveis de ruído pode provocar danos irreversíveis à audição, como a perda auditiva induzida por níveis de pressão sonora elevados - PAINPS. Além da alteração na função auditiva devido à exposição ao ruído ocupacional, o ruído e a PAINPS comprometem a comunicação e a qualidade de vida dos trabalhadores.

O ruído é considerado como agente físico nocivo à saúde mais frequente no ambiente de trabalho, sendo caracterizado como o fator de maior prevalência das origens de doenças ocupacionais (PADOVANI et al., 2004).

A PAINPS como uma patologia consultiva e insidiosa, que progride ao longo dos anos de exposição ao ruído associado ao ambiente de trabalho, destaca-se como a segunda maior causa de perda auditiva no homem, além de ser a mais frequente das doenças ocupacionais (GATTO et al., 2005).

O som é a sensação auditiva resultante de variações de pressão do ar, tendo sempre origem numa fonte qualquer de vibração (SANTOS et al., 2008). O conceito de ruído é mais subjetivo que o conceito de som, sendo normalmente definido como um som desagradável ou indesejável (AZEVEDO, 2004).

A subjetividade do conceito de ruído advém diretamente da interpretação pessoal de cada um de nós. Um concerto de música de rock pode ser considerado num certo

valor como agradável para quem quer assistir, mas, por outro lado, pode ser entendido como desagradável (ruído) para quem possui uma casa nas imediações e/ou não aprecia o estilo musical. Por outro lado, o próprio trânsito, que conjuga em si um conjunto de contribuições de diferentes fontes sonoras, é normalmente tido como ruído, no entanto, pode não ser considerado como tal, por alguém que o aprecie como uma característica intrinsecamente urbana, na qual se sente bem (SANTOS et al., 2008).

Portanto, o ruído é uma onda sonora, ou um complexo de ondas sonoras, causando sensação de desconforto e uma gradual perda de sensibilidade auditiva, além de outros danos físicos e psicológicos em humanos (TIBIRIÇÁ e JANELAS, 1997; SOUZA, 2003).

A Delegacia Nacional da FIEP no Brasil, (2011) cita que o ruído age sobre o organismo humano de várias maneiras, prejudicando não só o funcionamento do aparelho auditivo, mas o comprometendo da atividade física, fisiológica e mental do indivíduo a ele exposto. Sabe-se que os ruídos de 60 decibéis (dB) são prejudiciais aos seres humanos, ocasionando extremo desconforto, proporcionando problemas de concentração e resultando em alterações fisiológicas.

A exposição a níveis elevados de ruído, por um curto período de tempo, pode desencadear respostas cardiovasculares semelhantes às que ocorrem no estresse agudo, com aumento da frequência cardíaca e da pressão sanguínea, mediado pelo aumento da resistência vascular periférica (IIDA, 2005)

6.2 Características físicas do som

6.2.1 Frequência

A frequência sonora distingue-se em dois tipos de sons: os sons puros e os sons complexos. Os sons puros são constituídos apenas por uma frequência, tal como o som reproduzido por um diapasão. Os sons complexos são constituídos por um espectro de frequência. Os sons do nosso dia-a-dia são, normalmente, sons complexos. Segundo Santos (2006) a frequência é definida como o número de variações de pressão da fonte emissora por segundo, sendo a sua unidade o Hertz (Hz). O ouvido humano tem a capacidade de detectar frequências entre 20 e 20 000 Hz. Abaixo dos 20 Hz, os sons designam-se por infrassons e acima dos 20.000 Hz chamam-se ultrassons, ambos inaudíveis ao ser humano (SANTOS, 2006).

A gama audível está dividida em 10 grupos de frequências designadas por oitavas. Cada oitava está subdividida em três grupos de terços de oitava. A designação de cada

oitava corresponde à sua frequência central, que é o dobro da frequência central da oitava antecedente e a média geométrica das frequências limites (AREZES, 2002). Na Figura 5, verifica-se a capacidade de detecção de frequências pelo ouvido humano.

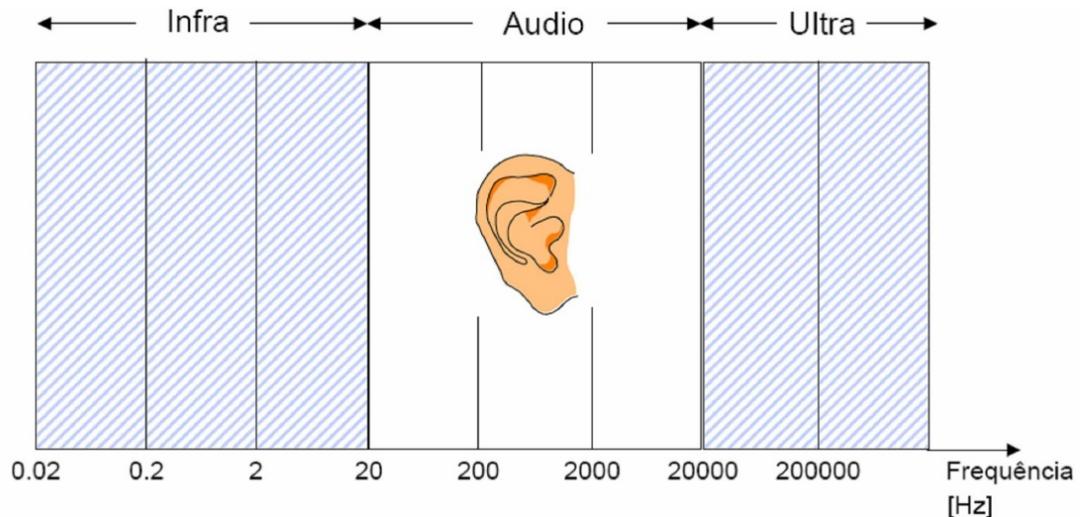


Figura 5 – Capacidade de detecção de frequências pelo ouvido humano. Modificado Bruel e Kjaer, em Análise em frequência. Fonte: Santos. (2006).

O cálculo da frequência, que nos dá o número de flutuações por segundo, é determinado pela Eq. (2) (AREZES, 2002).

$$f = \frac{1}{T} \quad (2)$$

Em que: f – é a frequência em hertz; T – o período em segundos.

6.2.2 Comprimento de onda

O comprimento de onda Figura 6, é a distância percorrida pelo som durante certo período. Assim, como num movimento uniforme no espaço percorrido pela onda é igual ao produto da velocidade pelo tempo, o comprimento de onda será o produto da velocidade de propagação do som num dado meio, pelo período de vibração (SANTOS, 2006).

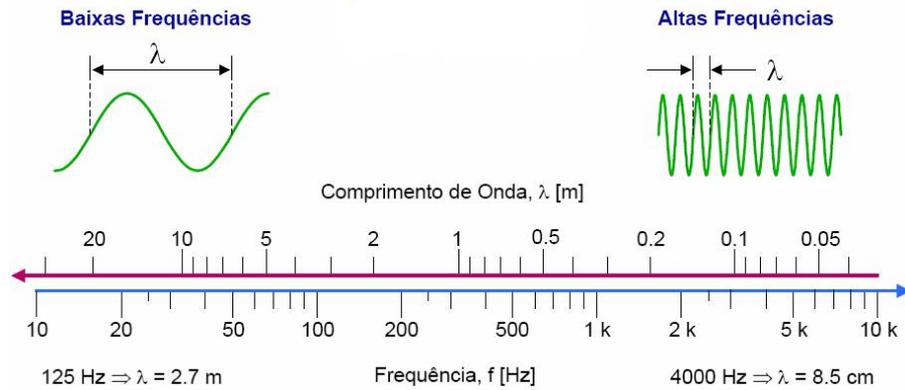


Figura 6 - Representação gráfica do comprimento de onda. Modificado Bruel e Kjaer, em Análise em frequência. Fonte: Santos. (2006).

Segundo Santos (2006) o comprimento de onda é designado pela relação entre a velocidade de propagação do som e o período de vibração Eq. (3).

$$\lambda = \frac{c}{T} \quad (3)$$

em que: C – velocidade de propagação do som (no ar é de aproximadamente 340 m s^{-1}) e T – período de vibração.

Admitindo-se que o período é o inverso da frequência, Eq. (4).

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (4)$$

em que: C – velocidade de propagação do som (m s^{-1}) e f – Frequência (Hz).

6.2.3 Potência, pressão e intensidade sonora

A potência sonora é a quantidade de energia sonora que a fonte pode produzir. Esta quantidade de energia produzida é independente da fonte sonora. A pressão sonora é a quantidade de energia captada pelo ouvido humano. Esta quantidade de energia produzida é diretamente dependente da fonte sonora (do isolamento, distância e meio em que a fonte sonora se encontra). A intensidade sonora está associada à quantidade de energia produzida, sendo diretamente relacionável com o quadrado da pressão sonora (SANTOS, 2006).

Quando a fonte sonora estiver próxima a um meio refletor (tal como um motor trabalhando próximo ao chão), a área circundante, de propagação do som, será apenas a metade. Desta forma, para se calcular a intensidade sonora utiliza-se a Eq. (5).

$$I = \frac{W}{2\pi r^2} \quad (5)$$

em que: I - intensidade sonora (Wm^{-2}); W - potência sonora da fonte (W) e r - distância à fonte (m).

6.2.4 Unidades bel e decibel

A unidade bel surge em honra de Alexander Graham Bell que definiu que $bel = \log (p/p^0)^2$. O problema é que esta escala comprime demasiadas as pressões sonoras. Assim, optou-se por decibel, que transforma $\log (p/p^0)^2$ em $10 \log (p/p^0)^2$ (ou no mais utilizado $20 \log (p/p^0)$), citado por SOUZA, 2014. Partindo do princípio que o denominador corresponde a $20\mu Pa$, (mais especificamente a 2×10^{-5}) o que, por sua vez, corresponde ao limiar da sensibilidade auditiva humana e, conseqüentemente, equivale a 0 dB, conclui-se que a escala utilizada não é uma escala absoluta, mas sim comparativa, uma vez que relaciona dois valores de diferente de pressão (RINALDI, 2008).

6.2.5 Escalas de ponderação

Durante o processo de medição os diversos valores de pressão sonora (L_p) são adaptados a diferentes critérios, mediante filtros ponderadores pré-definidos nos decibelímetros. A escala de medição linear corresponde à pressão sonora tal como é medida, sem a aplicação de nenhum tipo de ponderação. Fora a escala linear, pode-se mencionar mais quatro diferentes tipos de ponderação, normalmente utilizadas de filtros, ou as escalas A, B, C e D. As escalas A e B atribuem uma ponderação aos níveis de pressão sonora para que os valores se aproximem da sensibilidade do ouvido humano. O ouvido humano, pela sua anatomia, não se apercebe dos sons, tal como o decibelímetro os capta, sendo muito mais sensíveis a altas frequências e pouco sensíveis a baixas frequências (RINALDI, 2008).

Desta forma, a aplicação das ponderações A e B permitem transformar os valores de pressão captados pelos decibelímetros em valores correspondentes à sensibilidade do ouvido humano. Segundo o mesmo autor, a escala “A” é frequentemente utilizada, ao contrário da escala “B” que raramente é aplicada. A escala “C”, sendo praticamente linear, atribui pequenas atenuações para as baixas e altas frequências. A escala “D” é muito pouco utilizada, sendo apenas aplicada nas medições de níveis de ruído associados à aviação.

A representação da aplicação de uma ponderação a um determinado valor de pressão sonora é dada pelo acrescento do símbolo (A) posterior ao símbolo dB. O conteúdo do símbolo (A) representa a escala de ponderação utilizada. Por exemplo: o valor de L_p (pressão sonora) de 86 dB, conseguido depois da aplicação da ponderação A, representa-se da seguinte forma, 86 dB(A) ou 86 dBA.

6.3 Norma regulamentadora de exposição ao ruído

No Brasil, a norma regulamentadora do Ministério do Trabalho e do Emprego (NR-15), estabelece critérios de níveis e de tempo de exposição máximo ao ruído, para uma jornada de trabalho diária de 8 horas. A Tabela 3 apresenta os critérios estabelecidos para o Brasil.

Tabela 3 – Critérios de ruído dB(A), e tempo de exposição estabelecidos para o Brasil

| Nível de Ruído dB (A) | Máxima exposição diária permissível | Nível de Ruído dB (A) | Máxima exposição diária permissível |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 85 | 8 horas | 98 | 1 hora e 15 minutos |
| 86 | 7 horas | 100 | 1 hora |
| 87 | 6 horas | 102 | 45 minutos |
| 88 | 5 horas | 104 | 35 minutos |
| 89 | 4 horas e 30 minutos | 105 | 30 minutos |
| 90 | 4 horas | 106 | 25 minutos |
| 91 | 3 horas e 30 minutos | 108 | 20 minutos |
| 92 | 3 horas | 110 | 15 minutos |
| 93 | 2 horas e 40 minutos | 112 | 10 minutos |
| 94 | 2 horas e 15 minutos | 114 | 8 minutos |
| 95 | 2 horas | 115 | 7 minutos |
| 96 | 1 hora e 45 minutos | - | - |

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego – NR-15, Anexo 01, 2011.

6.3.1 Efeitos do ruído no corpo humano

Quando o indivíduo é exposto a um ambiente excessivamente ruidoso, seu organismo pode apresentar diversos tipos de distúrbios, tais como: dilatação da pupila; aumento da produção de hormônios da tireoide; aumento do ritmo do batimento cardíaco; aumento da produção de adrenalina e corticotrofina, contração do estômago e abdômen; reação muscular, contração de vasos sanguíneos; aumento da pressão arterial; distúrbio do sono; fadiga e efeitos psicológicos como o estresse. Além disso, problemas

envolvendo comunicação, perda da eficiência no trabalho e outros, podem também ocorrer (AZEVEDO, 2004; DIAS, 2006).

A BRITISH MEDICAL ASSOCIATION, citado por Azevedo (1984), conclui após longa pesquisa, que a exposição contínua de um indivíduo a níveis de intensidade de ruído que ultrapassem 85 dB(A), dentro das faixas de frequências que oscilam entre 250 a 4.000 Hz, causa danos permanentes à audição. Esse valor é adotado como máximo nível permitido para 8 horas de trabalho (Figura 7).

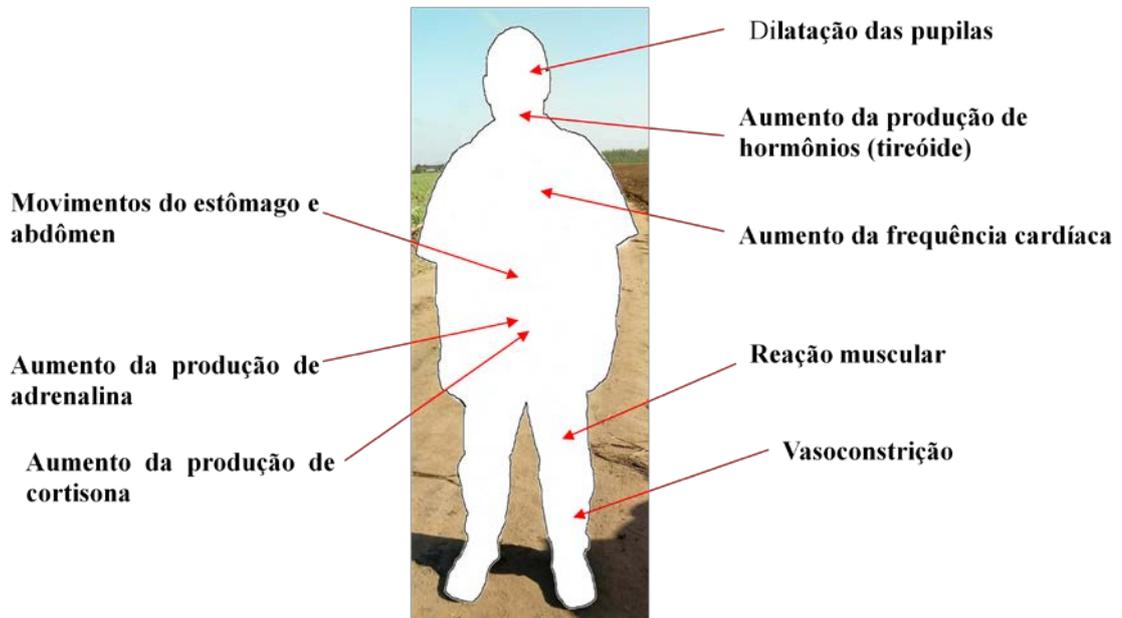


Figura 7 – Alguns dos distúrbios causados pelo ruído no ser humano. Fonte: Autor

De acordo com a ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE, pode-se afirmar que a poluição sonora afeta a saúde, prejudicando não só o indivíduo em si, mas também a toda população exposta ao agente estressor (AZEVEDO, 1984).

No Ministério do Trabalho existem três normas regulamentadoras (NR) relativas à questão do ruído no ambiente de trabalho. A NR 6, que se refere aos equipamentos de proteção individual (EPI), incluindo os protetores auriculares; a NR 7 refere-se aos exames médicos, incluindo recomendações para os exames audiométricos. Já a NR 15, refere-se às atividades e operações insalubres, levando também em consideração os limites relativos à exposição ao ruído, indicando como prejudicial, ruídos acima de 85 dB(A) para uma exposição máxima de 8 horas diárias (COUTO JUNIOR et al., 2011).

6.4 Ruído no trator

Os ruídos vêm de diferentes fontes no trator agrícola. O escape, que causa ruído de grande intensidade, é responsável por 45 a 60% do ruído total. As demais fontes são: aspiração com 15 a 20%, ventilador com 12 a 20% e vibração, com 15 a 20% do ruído total (SIMONE et al., 2006).

No mercado, as máquinas agrícolas estão sendo lançadas cada vez mais confortáveis e potentes, e com esse aumento de potência também se verifica o aumento nos níveis de ruído, porém, a partir do início da década de 90, notou-se convergência dos valores para uma faixa de 85 a 88 dB(A) independente da potência. Isso ocorreu devido ao lançamento das máquinas com cabines ergonômicas acústicas (COUTO JUNIOR et al., 2011).

O aumento da rotação do motor do trator acarreta aumento no nível de potência sonora, mas somente em rotações extremas, a 2.200 RPM o operador estaria sujeito à condição de estresse podendo trabalhar apenas 6 horas por dia, sem o uso de protetor auricular (CORTEZ et al., 2008).

Pesquisadores avaliaram a potência sonora de dois tratores agrícolas (55,2 kW e 80,9 kW) em função das pistas (asfalto, concreto e solo firme), pressões dos pneus (103,4 kPa, 137,9 kPa, 172,4 kPa e 206,8 kPa) e velocidades (3,60 km h⁻¹, 5,04 km h⁻¹ e 6,84 km h⁻¹) e concluíram que a potência sonora não foi influenciada por nenhum destes fatores, mas pela potência do motor e presença ou não de cabine ergonômica (TOSIN et al., 2009).

Para Cunha et al., (2012) a intervenção humana para redução de ruído no trator está ligada à redução da intensidade dos mesmos no seu conjunto causador, à diminuição do tempo de exposição ou ao uso de proteção adequada (EPI). Segundo Aybek (2010), a utilização de cabines ergonômica no trator pode ser um método para reduzir a exposição do operador ao ruído.

7 Carga física de trabalho

As atividades agrícolas são, na maioria das vezes, realizadas por meio de métodos manuais, semimecanizados e mecanizados com uso de diversos equipamentos, exigindo elevada demanda de mão de obra. Além disso, os trabalhadores atuam em ambientes

abertos, expostos às condições ambientais desfavoráveis e executando atividades que demandam elevado esforço físico.

A avaliação da carga física de trabalho (CFT) foi o primeiro parâmetro tratado pela fisiologia do trabalho e continua sendo uma questão central para a maioria dos trabalhadores do mundo. Do ponto de vista fisiológico, a CFT é a expressão da intensidade de atividade laboral posta para o indivíduo. É geralmente avaliada por meio de respostas metabólicas ou cardiovasculares dos indivíduos a uma atividade física, variáveis que podem ser expressas por meio de seus valores absolutos, como a frequência cardíaca ou consumo energético do trabalhador (RODAHL, 1989),

Para Edholm (1968) citado por Fiedler et al., (2012), a frequência cardíaca é um importante indicador para avaliar a carga física do trabalhador pela grande facilidade de registros dos dados.

A necessidade de exercer força durante o trabalho tem levado o aparecimento de tensões mecânicas localizadas no organismo do trabalhador e essa exigência incrementada de energia conduz a sobrecarga dos músculos, coração e pulmões (VILA VERDE e CRUZ, 2004).

O esforço físico resulta de qualquer atividade desenvolvida pelo homem, seja durante o período de descanso até a prática de atividades físicas pesadas. O esforço mais intenso deve ser evitado, pois há risco de consequências de danos físicos e psicológicos ao ser humano (SEIXAS, 1991).

Apud (1989) afirma que, o limite de carga máxima no trabalho pode ser calculado indiretamente, com base na frequência cardíaca do trabalho (FCT) ou pela carga cardiovascular (CCV), que corresponde à percentagem da frequência cardíaca do trabalho (FCT) em relação à frequência cardíaca máxima utilizável (FCM), não podendo ultrapassar a 40% da FCT, pois caso contrário, o trabalhador estará realizando a atividade com sobrecarga física.

A aplicação de métodos para determinação da carga física de trabalho visa permitir que a mesma se mantenha dentro dos limites que tornem possível o trabalho em turnos de 8 horas (ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO, 1968).

7.1 Carga física de trabalho na agricultura

Em trabalho realizado por Lopes et al., (2011) com o objetivo de determinar a carga física na atividade de aplicação de herbicida, os resultados indicaram que a carga vascular foi mantida abaixo do limite máximo recomendado de 40%, classificada como

moderadamente pesada, não sendo necessário o estabelecimento de pausas adicionais de repouso.

Pesquisa para analisar a carga de trabalho físico em atividades de implantação florestal em áreas declivosas, conclui que o maior índice de frequência cardíaca foi na atividade de coveamento manual (125 bpm), sendo classificada como moderadamente pesada. A menor exigência física ocorreu na atividade de adubação, pré-plantio, com frequência cardíaca média de (87 bpm), sendo classificada como atividade leve, não havendo a necessidade de reorganizar o ambiente de trabalho com inserção de pausas orientadas (FIEDLER et. al., 2012).

8 Referências

ABERGO. *Associação Brasileira de Ergonomia*. Apresenta o conceito de ergonomia cognitiva. Disponível em:< <http://www.abergo.org.br/oqueeergonomia.htm>>. Acesso: em 01. 2019.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NORMA NBR 9999 - Medição do Nível de Ruído, no Posto de Operação, de Tratores e Máquinas Agrícolas. - 1987.

ALFANO, Francesca Romana d’Ambrosio; DELL’ISOLA, Marco.; PALELLA, Boris Igor; RICCIO, Giuseppe.; RUSSI, Aldo. On the measurement of the mean radiant temperature and its influence on the indoor thermal environment assessment. **Building and Environment**, v. 63, p. 79-88, 2013.

ALONSO, José Pérez; CALLEJÓN-FERRE, Angel J.; CARREÑO-ORTEGA, Angel; SÁNCHEZ HERMOSILLA, Julián. Approach to the evaluation of the thermal work environment in the greenhouse-construction industry of SE Spain. **Building and Environment**, v. 46, p. 1725-1734, 2011.

ALVES, Francisco. Por que morrem os cortadores de cana? **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 15, n.3, p. 90 – 98, 2006.

APUD, E. **Guide-lines on ergonomics study in forestry**. Genebra: ILO, 1989. 241 p.

AREZES, Pedro Miguel Ferreira Martins. **Percepção do risco de exposição ocupacional ao ruído**. 2002. 240 f. Tese (Doutorado em Engenharia de produção) – Departamento de Produção e Sistemas, Escola de Engenharia da Universidade do Minho. Guimarães, 2002.

AYBEK, A.; KAMER, H. A.; ARSLAN, S. Personal noise of operators of agricultural tractors. **Applied Ergonomics**, London, v. 41, p. 274-281, 2010.

AZEVEDO, A. P. M. **Efeito de produtos químicos e ruído na gênese de perda auditiva ocupacional.** Dissertação (Mestrado em Saúde Pública)- Fundação Oswaldo Cruz. Rio de Janeiro, p. 162. 2004.

AZEVEDO, Alberto Vieira de. **Avaliação e controle do ruído industrial.** Rio de Janeiro: CNI, 1984. 118 p.

BRANDÃO, Leandro Vargas, **Uso de geoprocessamento e do Índice de Estresse Térmico (IET) para mapear a exposição ao calor em cortadores de cana-de-açúcar, no Estado de São Paulo.** 2012. 75f. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2012.

BRASIL. MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. ATIVIDADES E OPERAÇÕES INSALUBRES: **NR-15.** 2011. <http://portal.mte.gov.br/data/files/8a7c816a36a27c140136a36a8089b344c39/NR-15> (Atualizada 2011) II.pdf. Acesso: em 22 ago. 2017.

BUDD, Grahame. M. Wet-bulb globe temperature (WBGT) – its history and its limitations. **Journal of Science and Medicine in Sport**, v.11, n. 1, p.20-32, 2008.

CAMARGO, Livia Arantes; MARQUES JUNIOR, José; PEREIRA, Gener Tadeu. Spatial variability of physical attributes of an alfisol under different hillslope curvatures. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Viçosa, v. 34, n. 3, p. 617-630, June 2010

CAMPBELL, Iain. Body temperature and its regulation. **Anesthesia & Intensive Care Medicine**. v. 12, n. 6, p. 240-244, 2011.

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

CASTANEDO, Clemente Ibarra. **Quantitative subsurface defect valuation by pulsed phase thermograph: Depth retrieval with the phase.** 2005.167f. Tese (Doutorado em Filosofia) – Faculté des Sciences et de Génie, Université Laval, Québec, 2005.

CHARKOUDIAN, Nischa. Mechanisms and modifiers of reflex induced cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans. **Journal Applied. Phisyology**, v. 109, n. 4, p. 1221, 2010.

CONAB – Companhia Brasileira de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar, safra 2015/2016.** Primeiro Levantamento, v.2, n.1 p. 1-28, Brasília, 2015a. Consultado em 29 de agosto de 2018, de WWW.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_09_02_boletim_cana_portugues 15-16p. 2015a

COOPERB, Sistema para preparo do solo para o plantio da cana. *Conferência.* Nova Cana.com, Brasil, 2008.

CORTEZ, J. W. et al. Nível de pressão sonora em tratores agrícolas com e sem cabine. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 73, p. 28-30, 2008.

COSTA, Carlos Magno Amaral. **Técnicas de mensuração de temperatura corporal: uma especial atenção para as variações da temperatura da pele mensurada por**

termografia ao longo do dia. 2012. Dissertação (Mestrado em Educação Física) – Universidade federal de Viçosa, Viçosa, p. 95. 2012.

COSTA, E. Q.; BAPTISTA, J. S.; DIOGO, M. T.; MAGALHÃES, A. B. Ambiente térmico quente e o seu impacto na produtividade e sinistralidade. In: **Conference International Symposium on Occupational Safety and Hygiene.** P. 211-215. Guimarães, Portugal, 2011.

COUTO JUNIOR, Antonio Felipe et al. Tratamento de ruídos e caracterização de fisionomias do Cerrado utilizando séries temporais do sensor MODIS. **Revista Árvore,** Viçosa, v. 35, n. 3, supl. 1, p. 699-705, 2011.

CUNHA, João Paulo Arantes Rodrigues da; Marcus Antonio Viana; SOUZA, Cristiano Márcio Alves de. Vibração e ruído emitidos por dois tratores agrícolas. **Idesia,** Arica, v. 30, n. 1, p. 25-34, 2012.

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.

DELEGACIA NACIONAL DO TRABALHO NO BRASIL- *FIEP* – Brasil, 2011.

DIAS, Elizabeth Costa. Condições de vida, trabalho, saúde e doença dos trabalhadores rurais no Brasil. In: Pinheiro, Tarcísio Márcio Magalhães, (org.) **A saúde do trabalhador rural** –RENAST, Brasília: Ministério da Saúde; 2006. p. 1-27.

FERREIRA, J.J.; MENDONÇA, L.C.; NUNES, L. A.; ANDRADE FILHO, A. C.; REBELATTO, J. R.; SALVINI, T.F.; Exercise-associated thermographic changes in Young and elderly subjects. **Annals of Biomedical Engineering,** Landover, v.36, n. 8, p. 1420-1427, 2008.

FIEDLER, N. C.; FERREIRA, A. H. S.; VENTUROLI, F.; MINETTE, L. J. *Avaliação da carga de trabalho físico exigido em operações de produção de mudas ornamentais no Distrito Federal - Estudo de Caso.* **Revista Árvore,** Viçosa, v. 31, n. 4, p. 703 - 708, 2012.

FISHER, Michele et al. The Effect of Submaximal Exercise on Recovery Hemodynamics and Thermoregulation in Men and Women. **Research Quarterly for Exercise and Sport,** v. 70, n. 4, p. 361-368, 1999.

GALETI, Paulo Anester. **Preparo do solo.** Instituto campineiro de ensino Agrícola. Piracicaba, 220p. 1981.

GAMBRELL, R. C.. Doenças térmicas e exercício. In: Lillegard, Wade. A.; Butcher, Janus. D.; Rucker, Karen. S. **Manual de medicina desportiva: uma abordagem orientada aos sistemas.** São Paulo: Manole, 2002. p. 457-464.

GATTO, Clasdi I.; LERMEN Rose A.; TEIXEIRA, Tatiane M.; MAGNI, Cristiana.; MORATA, Thaís C. A análise da conduta de médicos do trabalho diante de trabalhadores com perda auditiva. **Revista Distúrbios da Comunicação,** v. 17, n. 1, p. 101-115, 2005.

GENZ, Juliana Simon; VILAGRA, José Mohamud. Tempo de trabalho e sua relação com dor na operação de trator agrícola. FIEP Bulletin: **Federation Internationale D'Education Physique**. v. 79. Special Edition. Article –II, p. 149, 2009.

GOSLING, Marlusa; Araújo, Gilberto Cifuentes Dias. Saúde física do trabalhador rural submetido a ruídos e à carga térmica: um estudo em operadores de tratores. **O Mundo da Saúde**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 275-286, 2008.

GUYTON, Arthur. C.; HALL, John. E. **Tratado de fisiologia medica**. 10^a Edição. Mexico; Mcgraw Hill Interamericana, 2001.

HILDEBRANDT, Carolin; RASCHNER, Christian; AMMER, Kurt. An Overview of Recent Application of Medical Infrared Thermography in Sports Medicine in Austria. **Sensors** (Basel), v.10, n. 5, p. 4700 – 4715, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO. **ISO 7730 1994**: Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, 2006.

IIDA, Itiro; Guimarães, Lia Buarque de Macedo. **Ergonomia projeto e produção**. 9^a Ed. São Paulo: Edgard blucher Ltda, 465p. 2003.

IIDA, Itiro; Guimarães, Lia Buarque de Macedo. **Ergonomia Projeto e Produção**. 3^a Edição Revisada e Ampliada. Editora Edgard Blücher Ltda, 2016.

JAY, Ollie; KENNY, Glen P. Heat exposure in the Canadian workplace. **American journal of industrial medicine**, New York, v. 53, n. 8, p. 842-853, 2010.

KIRUBAKARAN, R.; VENKATARAMANA, S. JAABIR, M. S. M. Effect of ethrel and glyphosate on the ripening of sugar cane. **Internacional Journal of Chemical Technology Research**, v. 5, p. 1927-1938, 2013.

KROEMER, Karl H. E.; GRANDJEAN, Etienne. **Manual de Ergonomia: Adaptando o Trabalho ao Homem**. 5^a Edição. Porto Alegre. Bookman, 2005. 328 p.

LAMBERTS, Roberto. **Desempenho térmico de edificações: Aula 2: Conforto térmico**. 46 f. Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2012. Notas de aula.

LEITE, Elizabeth Spengler Cox de Moura. **Stress Térmico por Calor – Estudo Comparativo dos Métodos e Normas de Quantificação**. 2002. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

LOPES, Eduardo da Silva; OLIVEIRA, Felipe Martins de. Avaliação da carga de trabalho físico e da postura de trabalhadores na produção de mudas florestais. **CERNE**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 573-582, 2011.

MALDAGUE, Xavier P. **Theory and practice of infrared technology for non destructive testing**. Wiley & Sons: New York, 2001. 704 p.

MARTINS, A.; SÁ, V. W. B. Variation of skin temperature during and after contrast bath therapy. **Rev. Andal Med Deport.**, v. 4, n. 4, p. 129-134. 2011.

MENZANI, Grazielle; BIANCHI, Estela Regina Ferraz. Stress dos enfermeiros de pronto socorro dos hospitais brasileiros. *Revista. Eletrônica de Enfermagem*, v. 11, n. 2, p. 327-33, 2009.

MIALHE, LUIZ GERALDO. **Manual de Mecanização Agrícola**. São Paulo-SP: Ceres, 1981. 301p.

MIALHE, LUIZ GERALDO. **Máquinas Agrícolas: ensaios e certificação**. Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1997. 722 p.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. *Atividades e operações insalubres*, NR-15, 2010. Disponível: <[http://www.mte.gov.br/legislacao/normas regulamentado-ras/nr_15.pdf](http://www.mte.gov.br/legislacao/normas%20regulamentado-ras/nr_15.pdf)> Acesso: em ago/2016.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. *NR-15: atividades e operações insalubres*. Disponível: <[http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A36A27C140136A8089B344C39/NR-15%20\(atualizada%20,2011\)%20II](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A36A27C140136A8089B344C39/NR-15%20(atualizada%20,2011)%20II)>. Acesso: em: julho. 2016.

MORAN, D. S.; PANDOLF, K. B.; SHAPIRO, Y.; HELED, Y.; SHANI, Y.; MATHEW, W. T.; GONZALEZ, R. R. An environmental stress index (IET) as a substitute for the wet bulb glob temperature (WBGT). **Journal of Thermal Biology**, v. 26, n. 4 - 5, p. 427 - 431, 2001.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). **Guia de seguridad e higiene em lós trabajos forestales**. Genebra, 1968. 244 p.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Occupational and community noise**. Geneva: World Health Organization. 2001.

OSHA. **Occupational safety and health administration**. Disponível em: <http://www.osha.gov>. 2006. Acesso: em 22 d agosto de 2016.

PADOVANI, Carla; NOVA, Camila Vila; QUEIROZ, Fernanda; SILVA, Luíza Poliana Anjos. Percepção das condições auditivas pelos servidores públicos da Universidade do estado da Bahia: Considerações sobre o projeto saúde auditiva. **Rev. Baiana de Saúde Pública**, v. 28, n. 2, p. 203-211, 2004.

PASCOE, David D.; MERCER, James. B.; WEERD, Lois de. Physiology of thermal signals. In: DIAKIDES, Nicholas. A, BRONZIN, Joseph. D. (ed.). **Medical infrared imaging**, Boca Raton, CRC Press; 2008. p. 6-20.

POLETTI FILHO, José Antonio. **Análise dos riscos físicos e ergonômicos em roçadora transversal motorizada**. 2013. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP. Botucatu, 2013.

RINALDI, Paula Cristina Natalino; CARLOS FERNANDES, Haroldo; SILVEIRA, João Cleber Modernel da; MAGNO JÚNIOR, Ronaldo. Goulart; MINETTI, Luciano José. Características de segurança e níveis de ruído em tratores agrícolas. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 16, n. 2, p. 215-224, 2008.

RING, E. F. J. Progress in the measurement of human body temperature. **IEEE, Engineering in Medicine and Biology Magazine**, v. 17, n. 4, p. 19-24, 1998.

RODAHL, K. **The physiology of work**. London: Taylor & Francis. 1989. 271 p.

RUAS, Alvaro C. **Avaliação do conforto térmico: contribuição à aplicação das normas internacionais**. São Paulo: Ministério do Trabalho e Emprego – FUNDACENTRO, 2001.

SALES, Rosemary do Bom Conselho. **Estudo de compostos de cimento portland utilizando o ensaio de frequência ressonante forçada e termografia**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

SALVADOR, Nilson et al. Demanda energética em diferentes sistemas de preparo periódico do solo antes e depois da subsolagem. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 39, n. 3, p. 378-383, 2008.

SANTOS, J. D.; FERREIRA, I. D. C. Variação dos limiares audiométricos em trabalhadores submetidos a ruído ocupacional. **Rev. Inter. de otorrinolaringologia**, v. 12, n. 2, 2008.

SANTOS, J. E. G.; SANTOS FILHO, A. G.; BÓRMIO, M. F. Conforto térmico: uma avaliação em tratores agrícolas sem cabine. SP. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2004, Bauru. **Anais...** Bauru: Universidade Estadual Paulista, p.35-39. 2004.

SANTOS, L. **Riscos Físicos – Ruídos**. Mestrado em Ambiente, Saúde e Segurança da Universidade dos Açores, 2006. Notas de aula.

SCHLADER, Z. J.; STANNARD, S. R.; MÜNDEL, T. Human thermoregulatory behavior during rest and exercise - a prospective review. **Rev. Physiology & Behavior**, v. 99, n. 3, p. 269-75, 2010.

SEELING, M. F.; ZEPKA, G. S. FOSTER, P. R. P. Aplicação de um índice térmico universal: Temperatura fisiológica equivalente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METROLOGIA, XII, 2010, Foz do Iguaçu. **Anais**. Paraná, 2010.

SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO: **Manuais de legislação**. São Paulo: Atlas; 2006.

SEIXAS, F. Avaliação do esforço físico dispendido em operações florestais: um exemplo na operação de colheita de sementes. **Série Técnica IPEF**, Piracicaba, v. 7, n. 22, p.1 - 16. 1991.

SHERIQUE, Jaques. Aprenda como fazer Demonstrações Ambientais, Perfil Profissiográfico Previdenciário e Custeio da Aposentadoria Especial. 4ª Ed., Editora LTr, 2004.

SIMONE, M. et al. **EL TRACTOR AGRÍCOLA – fundamentos para la selección y uso**. Buenos Aires: INTA, 2006. 256 p.

SOUZA, L. C. L. **Acústica arquitetônica**. São Paulo: Bauru, 2003.

SOUSA, RICARDO BRUNO CARVALHO DE. **Conforto térmico de operadores de tratores agrícolas submetidos a diferentes condições de operação de preparo do solo**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

- TAVARES, S. G. **Desenvolvimento de uma metodologia para aplicação de ensaios térmicos não destrutivos na avaliação de obras de arte**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- TIBIRIÇÁ, A. C. G. **JANELAS: Análise sistêmica para desempenho ambiental**. 1997. 265f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.
- TOSIN, R. C.; LANÇAS, K. P.; ARAÚJO, J. A. Avaliação do ruído no posto de trabalho em dois tratores agrícolas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 24, n. 4, p. 108-118, 2009.
- VAINER, Boris G. (FPA)-Based infrared thermography as applied to the study of cutaneous perspiration and stimulated vascular response in humans. **Physics in Medicine and Biology**, v. 50, n.23, p. 63-94, 2005.
- VILLASEÑOR-MORA, C; SANCHEZ-MARIN F.J; CALIXTO-CANON, S. An indirect skin emissivity measurement in the infrared thermal range through reflection of a Co2 laser beam. **Revista Mexicana de Física**, México, v. 55, p.387-392, 2009.
- VILLA VERDE, R.; CRUZ, R. M. Avaliação da frequência cardíaca como indicador biológico na prevenção dos distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho. **Revista Brasileira de Medicina do Trabalho**, Belo Horizonte, v.2, n.1, p 11-21, 2004.
- WOODSON, Wesley. E. **Human Engineering Guide for Equipment Designers**. University of California, Los Angeles, 2008. 204 p.
- WISNER, A. **Por dentro do Trabalho – Ergonomia Métodos e Técnicas**. São Paulo, FTD, 1998. 189p.
- YAGLOU, C. P.; Minard, D. Control of heat casualties at military training centers. **American Medical Association Archives of Industrial Health**, v.16, p. 302 316, 1957.

Capítulo 1 – CONFORTO TERMOACÚSTICO NO PREPARO PERIÓDICO DO SOLO PARA OPERADORES DE TRATORES AGRÍCOLAS

RESUMO

Objetivou-se com essa pesquisa avaliar os níveis de exposição ocupacional ao estresse térmico e acústico, presentes na plataforma de trabalho de operadores de tratores agrícolas, com cabine (ar condicionado) e sem cabine, durante o preparo periódico do solo para o cultivo de cana-de-açúcar. A pesquisa foi conduzida na Usina Petribu, localizadas no município Carpina – PE. Foram utilizados tratores acoplados a implementos utilizados nas operações de revolvimento do solo, destorroamento e sulcamento. Os registros de dados nas plataformas de trabalho do operador foram: a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$); a temperatura de globo negro ($^{\circ}\text{C}$); a umidade relativa do ar (%); a frequência cardíaca do operador (bpm); a temperatura de superfície da pele do operador ($^{\circ}\text{C}$); o ruído; dB(A) e a velocidade do ar (m s^{-1}), registrados a cada 10 s, por meio de instrumentação específica, com registro automático de dados. O preparo periódico do solo foi realizado em uma área de 8,4 ha, para uma jornada de trabalho diária de oito horas (8h:00 às 17h:00, com um intervalo de 1 hora para refeição), para cada operação, nos respectivos modelos de trator, sem cabine (4,3 ha) e com cabine ergonômica (4,1 ha), executadas pelo mesmo operador. Para caracterizar a magnitude da exposição térmica do operador, foi determinado o índice de bulbo úmido e termômetro de globo (IBUTG). Os dados foram submetidos à análise estatística descritiva para obtenção de média, valores máximos e mínimos, simetria/assimetria, desvio padrão e coeficiente de variação, que foram associados às recomendações apresentadas na NR15. A utilização do trator sem cabine apontou insalubridade residual por ruído em todas as operações, o que permite ao operador uma jornada de trabalho diária de apenas 4 horas. Os demais indicadores de estresse calor e carga física de trabalho, para o trator sem cabine e com cabine ergonômica, sinalizaram valores aceitáveis para uma jornada de trabalho diária de 8 horas.

Palavras-chave: cana-de-açúcar, ergonomia, mecanização, segurança no trabalho.

Chapter 1 – THERMOACÚSTIC COMFORT IN PERIODIC SOIL PREPARATION FOR AGRICULTURAL TRACTOR OPERATORS

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the occupational exposure levels to thermal and acoustic stress, present in the work platform of agricultural tractors operators, with cabin (air conditioning) and without cabin, during the periodic preparation of the soil for cultivation of sugarcane. The research was conducted in areas of Petribu Plant, located in Carpina - PE. Tractors coupled to implements used in plowing, harrowing and furrowing operations were used. Data logging on the operator's work platforms were air temperature (°C), black globe temperature (°C), relative air humidity (%), operator heart rate (bpm), temperature of the operator's skin surface (°C), noise, dB (A) and air velocity (m s^{-1}), recorded every 10 s, by means of specific instrumentation, with automatic data recording. The soil was periodically prepared in an area of 8.4 ha, for a daily working day of eight hours (8 a.m. to 5:00 p.m.(one hour of meal break), one hour of meal break, for each operation, in the respective tractor models, without a cab (4.3 ha) and with ergonomic cabin (4.1 ha), executed by the same operator. To characterize the magnitude of the thermal exposure of the operator, the wet bulb index and globe thermometer (WBT) were determined. Data were submitted to descriptive statistical analysis to obtain mean, maximum and minimum values, asymmetry, standard deviation and coefficient of variation, which were associated with the recommendations presented in NR15. The use of the tractor without ergonomic cab pointed out residual unhealthy noise in all operations, which allows the operator a daily working day of only 4 hours. The other indicators of thermoacoustic stress and physical work load, for the tractor without cabin and with cabin, indicated acceptable values for a daily working day of 8 hours.

Keywords: ergonomics, mechanization, safety at work sugarcane

1. INTRODUÇÃO

No Nordeste do Brasil, mais especificamente em Pernambuco, a maior frota de tratores agrícolas concentra-se na Zona da Mata, onde está localizada a maioria das indústrias sucroalcooleiras, destilarias de álcool, produtores de açúcar e fornecedores de cana-de-açúcar, da região.

Em Pernambuco, a safra 2017/2018 apresentou área cultivada com cana-de-açúcar de 223,2 mil hectares, com produtividade de 48.470 kg ha⁻¹ e produção de 10.819,0 mil toneladas (CONAB, 2018). Com o emprego da mecanização agrícola envolvida no processo produtivo de campo, desde o preparo do solo até o transporte da matéria prima para a indústria, um grande contingente de trabalhadores está envolvido na operação com máquinas agrícolas.

O estado de Pernambuco apresenta temperatura média diária elevada, em torno de 26 °C, mesmo nos meses considerados mais frios. No entanto, não se tem encontrado, em contatos mantidos com órgãos de pesquisas, nenhum trabalho concluído ou em andamento que tenham como resultado final a divulgação de dados que possam expressar os efeitos da temperatura, assim como investigações que informem os efeitos do estresse sonoro no local de trabalho em operações agrícolas, bem como sua influência na saúde ocupacional de operadores de tratores agrícolas.

O operador de máquinas agrícolas exposto ao estresse termoacústico pode apresentar desidratação, câimbras de calor, desmaios e choque térmico, perda auditiva temporária ou dano permanente, perturbações do estado de alerta e sono, problemas de circulação, irritabilidade, extenuação física e nervosa, diminuição do rendimento e aumento nos erros e riscos de acidentes de trabalho (GIAMPAOLI et al., 2006; MINETTE et al., 2007).

Nas demais regiões do Brasil, são raras as pesquisas desenvolvidas referentes ao assunto e suas consequências para o operador e, ainda assim, os respectivos resultados nem sempre são divulgados. Logo, se abre uma lacuna a ser preenchida com um embasamento das engenharias, em especial voltadas para a saúde dos operadores de máquinas agrícolas.

Dessa forma, essa pesquisa foi conduzida com o objetivo de avaliar os níveis de exposição ocupacional ao estresse térmico e acústico, presente no posto de trabalho de operadores de tratores agrícolas com cabine (ar condicionado) e sem cabine, durante o preparo periódico do solo para o cultivo de cana-de-açúcar.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local do experimento

A pesquisa foi conduzida em áreas de cultivo da Usina Petribu, localizadas no município Carpina - PE, a 50 km da cidade de Recife, latitude 7°51'S, longitude 35°14'W e altitude de 180 m (Figura 8).

O clima da região é caracterizado como megatérmico (As') com precipitação de inverno e estação seca do verão até outono, segundo classificação de Köppen (PEREIRA et al., 2002). A temperatura média anual é de 24,3 °C, sendo os meses de julho a agosto mais frio, enquanto janeiro e fevereiro, os meses mais quentes. A precipitação média anual é de 1260 mm com período seco de 6 (seis) meses.

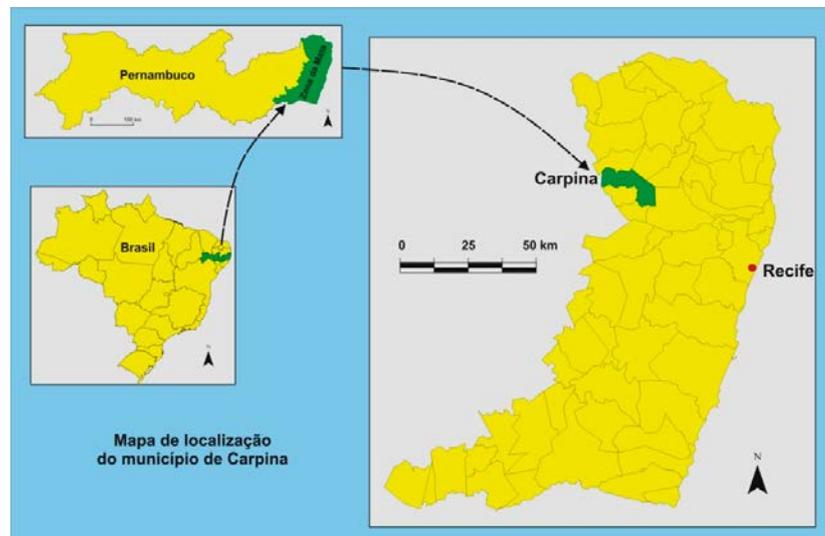


Figura 8 – Mapa de localização da Usina Petribu, local de realização do estudo.

2.2 Áreas do experimento

O estudo foi conduzido em duas áreas, perfazendo um total de 8,4 ha, sendo uma área com 4,3 ha (área 01), na qual o preparo periódico do solo, para plantio de cana-de-açúcar, foi executado por meio de um conjunto mecanizado composto por trator sem cabine, utilizando os implementos (grade aradora pesada, grade destorroadora /niveladora e sulcador para duas linhas). A área 02 apresentava 4,1 ha, o preparo periódico foi executado por meio do conjunto mecanizado, composto por um trator com cabine, com ar condicionado, utilizando os mesmos implementos agrícolas, para cada operação (gradagem pesada, gradagem média e sulcagem).

Na Figura 9, podem ser observadas as áreas de cultivo 01 e 02, utilizadas durante os trabalhos.

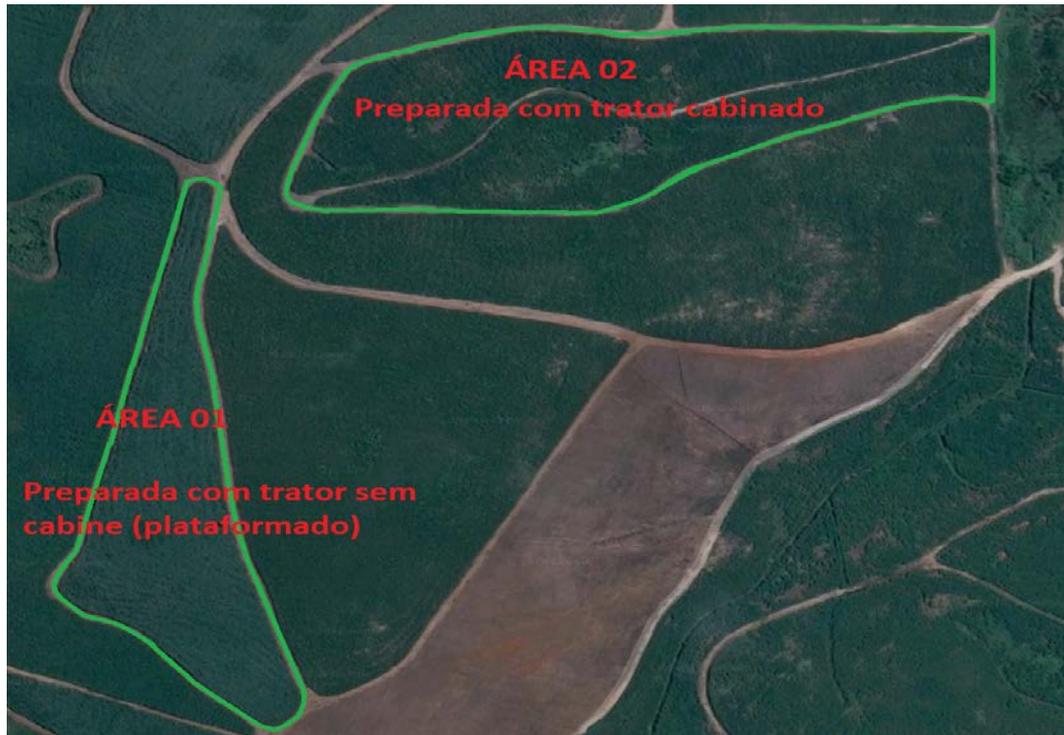


Figura 9 – Vista da localização por imagem de satélite das áreas 01 e 02, localizadas no campo de cultivo de cana-de-açúcar da Usina Petribu. Fonte: Google Earth (acesso em março, 2018)

2.3 Solos nas áreas de trabalho

Os solos nas áreas experimentais foram classificados como Latossolo distrófico amarelo, textura franco argilo arenosa, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), com relevo topo plano de tabuleiro (SOBRINHO, 1992) e declividade variando de 4 a 5% nas duas áreas estudadas, o que não oferece riscos significativos para operação quando se trabalha com tratores de pneus.

Na Tabela 4, verificam-se as principais características físicas, granulometria, densidade, umidade e classificação textural dos solos das áreas 01 e 02.

Tabela 4 – Análise granulométrica, classificação textural, densidade e umidade das amostras do solo das áreas 01 e 02

| Operação | Densidade (g/cm ³) | Umidade (%) | Densidade de partículas | Porosidade (%) | Argila (%) | Areia fina (%) | Areia Grossa (%) | Silte (%) | Classificação |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------|-------------------------|----------------|------------|----------------|------------------|-----------|-----------------------|
| Área (01) - Trator sem cabine | | | | | | | | | |
| Aração | 0,94 | 10,17 | | 0,63 | | | | | |
| Gradagem | 1,29 | 3,15 | 2,58 | 0,5 | 3,4 | 38,8 | 62,60 | 3 | Franco argilo arenoso |
| Sulcagem | 1,03 | 9,85 | | 0,6 | | | | | |
| Área (02) - Trator com cabine | | | | | | | | | |
| Aração | 1,67 | 5,09 | | 0,63 | | | | | |
| Gradagem | 1,36 | 7,70 | 2,61 | 0,50 | 3,4 | 38,8 | 62,6 | 1,80 | Franco argilo arenoso |
| Sulcagem | 1,44 | 5,83 | | 0,60 | | | | | |

Fonte: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006).

2.4 Fontes de Potência (Tratores)

2.4.1 Trator sem cabine (Plataformado)

Utilizou-se na área 01, nas operações de preparo periódico do solo, um trator New Holland, modelo TM 150, sem cabine, motor turbinado, com potência de 150 cv (110,25 kW), na rotação nominal de 2200 RPM, torque máximo de 620 N.m (63,2 kgf. m) a 1400 RPM; número de cilindros 6, cilindrada 7.500 cm³ (7,5 L), tração 4x2 com TDA (Tração dianteira auxiliar), classificado como de porte pesado (Figura 10).



Figura 10 - Trator sem cabine ergonômica (plataformado) utilizado na área de trabalho (01)

2.4.2 Trator com cabine (Ar condicionado)

Na área 02, utilizou-se um trator Massey Ferguson – 7180, com cabine (ar condicionado), potência do motor na rotação nominal 180 cv (132,4 kW), seis cilindros,

torque máxima no motor 720 N.m (73 kgf.m.), na rotação de 1400 rpm, tração 4x2 com TDA (Tração dianteira auxiliar), cilindrada 6600 cm³; classificado como de porte pesado (Figura 11).



Figura 11 – Trator com cabine, com ar condicionado, na área de trabalho (02).

2.5 Implementos Agrícolas

Durante a realização do preparo periódico do solo, para o plantio de cana-de-açúcar, foram utilizados em conjunto com os tratores, grade aradora pesada, de arrasto (rebocada), em tandem, com 16 discos recortados, oito discos por sessão, cada disco com diâmetro de 34” e peso de 1977 kg, que permitiu o corte e inversão parcial do solo. Durante a operação com a grade aradora foram utilizadas as seguintes regulagens no conjunto trator/implemento: rotação de trabalho do motor 1900 RPM; marcha 2^a reduzida; velocidade de deslocamento 6 km h⁻¹; largura de corte da grade aradora pesada 2,60 m e profundidade de corte 0,30 m. Na Figura 12, observa-se a grade aradora pesada, utilizado nas áreas de trabalho durante as coletas de dados.



Figura 12 – Grade aradora pesada utilizada na operação revolvimento nas áreas 01 e 02, durante a coleta de dados

O destorroamento/nivelamento dos solos nas áreas 01 e 02 foi realizado com uma grade média, composta por duas seções de disco, cada uma contendo 14 (quatorze) discos recortados, com diâmetro de 27”, totalizando 28 (vinte oito discos). Grade tipo “off-set”, rebocada hidráulica, chassi em tanden, peso 2240 kg. Durante as operações de gradagens foram utilizadas as seguintes regulagens no conjunto trator/implemento: rotação de trabalho do motor 1900 RPM; marcha 2ª reduzida; velocidade de deslocamento 6 km h⁻¹; largura de corte da grade 3,6 m e profundidade de corte 0,25 m. Na Figura 13, verifica-se a grade destorroadora/niveladora, usada nas áreas 01 e 02, durante operação de gradagem.



Figura 13 – Grade destorroadora/niveladora média utilizada nas áreas (01) e (02), durante a coleta de dados na operação de gradagem

Para a operação de sulcamento foi usado um sulcador com capacidade para abertura de duas linhas (dois sulcos) por ciclo de trabalho, tipo canavieiro, com balizador de linha e dispositivo distribuidor de adubo. Durante as operações de sulcagem foram utilizadas as seguintes regulagens no conjunto trator com sulcador: rotação de trabalho do motor 1900 RPM; marcha 2ª reduzida; velocidade de deslocamento 6 km h⁻¹; espaçamento entre sulcos de 1,40 m e profundidade de corte 0,30 m. A cada ciclo foram abertos dois sulcos e marcado o próximo com o disco marcador de linha. Na Figura 14, observa-se o sulcador utilizado nas áreas de trabalho, com a finalidade de complementar as operações do preparo periódico do solo, para a abertura de sulcos de plantio.



Figura 14 – Sulcador adubador tipo canavieiro de duas linhas usado nas áreas 01 e 02, durante a coleta de dados na operação de sulcagem

2.6 Coleta de dados nos tratores

O registro de dados durante as operações (temperatura do ar, °C; temperatura de globo negro, °C; umidade relativa do ar, %; frequência cardíaca do operador, bpm; temperatura de superfície da pele, °C; ruído, dB(A) e a velocidade do ar, m s⁻¹, foram realizados a partir de operações de preparo periódico do solo, para o cultivo de cana-de-

açúcar, com os tratores com e sem cabine, acoplados aos implementos específicos para as três operações: revolvimento, destorroamento/nivelamento e abertura de sulcos no solo.

2.6.1 Coleta de dados meteorológicos nas áreas de trabalho (Campo)

Foi instalado nas áreas de trabalho um “*datalogger*” no interior de um abrigo meteorológico, com as mesmas especificações daquele embarcado nos tratores, a 1,5 m de altura da superfície do solo, para aferir as variáveis meteorológicas do ambiente temperatura do ar (°C), temperatura de globo negro (°C) e umidade relativa do ar (%) que representaram as condições do microclima dos locais (áreas 01 e 02) (Figura 15).



Figura 15 – Abrigo para “*datalogger*” utilizado na aferição das variáveis ambientais no campo.

O registro da velocidade instantânea do vento (m s^{-1}) foi realizado no decorrer da pesquisa, nos instantes coincidentes com o registro das imagens termográficas, por meio de um termo-anemômetro, AZ Instrumentos[®], modelo 8908.

2.7 Características do operador

O operador, funcionário da Usina Petribu há mais de 10 anos, apresentava 1,68 m de altura; massa corporal de 80 kg; pele cor negra, 39 anos; não fumante; consumo moderado de álcool; frequência cardíaca em repouso de 62 bpm e, segundo o mesmo, em gozo de plena saúde.

O operador, durante as operações, utilizou vestimenta tipo calça comprida e camisa de manga curta, com índices de resistência térmica (clo) de 0,25 e 0,15, respectivamente, confeccionado de acordo com a ISO 7730 (1994), com tecido em algodão na cor clara, e sapatos de couro sintético tipo industrial, com clo de 0,04.

2.8 Condições da jornada de trabalho nas operações de campo

Os trabalhos de campo, com as respectivas coletas de dados, foram realizados no mês de outubro de 2017. As operações de revolvimento, destorroamento e sulcagem ocorreram nos dias 19, 20 e 21, respectivamente (área 01). Na área 02, as mesmas operações foram realizadas nos dias 26, 27 e 28, seguindo a mesma ordem das operações de campo. As jornadas de trabalho foram de 8 horas diárias, iniciando às 08 h 00 e finalizando às 17 h 00, com 1 hora de descanso entre os turnos de trabalho (manhã e tarde). Os dados foram coletados durante cada jornada efetiva de trabalho do operador, em intervalo de 10 s. Cada operação, referente a cada conjunto mecanizado e em cada área, foi realizada em um dia, perfazendo seis (06) dias de trabalho, totalizaram 48 horas de operações. Para efeito de controle em cada período de registro de dados (dia) em campo, foram coletadas amostras nas duas áreas para aferir os teores de água no solo.

2.9 Aferição das variáveis ambientais

As variáveis meteorológicas foram registradas no local de trabalho do operador, no trator de cabine, com ar condicionado e na plataforma do trator sem cabine, por meio de “*dataloggers*”, modelo HOBO U12-12 (Onset Computer Corporation Bourne, MA, USA), para o registro da temperatura do ar (T_a , °C), da umidade relativa do ar (UR %) e da temperatura de globo negro (T_{gn} , °C), (NR-15), o que permitiu a determinação da temperatura de bulbo úmido (T_{bu} , °C), pela equação de Stull (2011), Eq. (5). Na Figura 16, observa-se os equipamentos HOBO U12-12, utilizados no registro das variáveis meteorológicas, na plataforma de trabalho (tratores sem e com cabine ergonômica) nas áreas 01 e 02 e no ambiente externo.



Figura 16 – Equipamentos HOBO U12-12 utilizados nos registros das variáveis temperatura do ar (°C), umidade relativa do ar (%) e temperatura de globo negro, nos tratores sem e com cabine (áreas 01 e 02) e no ambiente externo

2.9.1 Equação de Stull – Temperatura de bulbo úmido

Segundo Stull (2011), a temperatura de bulbo úmido (°C) pode ser determinada pela Eq. (5), com erro médio de $\pm 0,1$.

$$T_{bu} = T_{bs} \times \text{ATAN} [0,151977(\text{UR} + 8,313659)0,5] + [\text{ATAN} (T_{bs} + \text{UR}) - \text{ATAN}(\text{UR} - 1,676331) + 0,00391838 (\text{UR})^{3/2}] \times \text{ATAN}(0,023101 \times \text{UR}) - 4,686035 \quad (5)$$

em que:

T_{bu} - temperatura de bulbo úmido, °C;

T_{bs} - temperatura de bulbo seco, °C;

UR - umidade relativa do ar, % e

ATAN - Arco tangente (°).

2.10 Índice de bulbo úmido e termômetro de globo (IBUTG)

Para caracterizar a magnitude da exposição térmica que o operador foi submetido durante as operações, tomou-se como referência a Norma Técnica adotada no Brasil, a NR-15, (Norma Regulamentadora nº 15, anexo 3), Lei nº 6.514, de 22/12/1977, portaria nº 3.214, de 08/06/1978 (MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO, 2011).

De acordo com a NR-15, a exposição térmica em ambientes externos deve ser avaliada por meio do índice de bulbo úmido e termômetro de globo (IBUTG), definido pela Equação (6).

$$\text{IBUTG} = 0,7 T_{bu} + 0,1 T_{bs} + 0,2 T_{gn} \text{ (}^\circ\text{C)} \quad (6)$$

em que:

Tbu - temperatura de bulbo úmido (°C);

Tbs - temperatura de bulbo seco (°C);

Tgn - temperatura de globo negro (°C).

Para que as medições sejam representativas da exposição ocupacional é importante que o período de amostragem cubra toda a jornada de trabalho (NR-15, 2011), considerando-se as condições do ambiente e as atividades físicas, desenvolvidas pelo trabalhador, bem como as alterações metabólicas do operador decorrentes da tarefa realizada.

Portanto, o IBUTG leva em consideração se o tipo de atividade desenvolvida e a demanda energética em Kcal h⁻¹ será: leve; moderada ou pesada, avaliada por classe ou por tarefa (Tabela 5).

Tabela 5 – Taxa de metabolismo por tipo de atividade

| TIPO DE ATIVIDADE | Kcal/h |
|---|---------------|
| SENTADO EM REPOUSO | 100 |
| TRABALHO LEVE | |
| Sentado, movimentos moderados com braços e tronco (ex: datilografia) | 125 |
| Sentado, movimentos moderados com braços e pernas (ex: dirigir) | 150 |
| De pé, trabalho leve, em máquinas ou bancada, principalmente com os braços. | 150 |
| TRABALHO MODERADO | |
| Sentado, movimentos vigorosos com braços e pernas. | 180 |
| De pé, trabalho leve, em máquinas ou bancada, principalmente com os braços | 175 |
| De pé, trabalho moderado em máquina ou bancada, com alguma movimentação. | 220 |
| Em movimento, trabalho moderado de levantar e empurrar. | 300 |
| TRABALHO PESADO | |
| Trabalho intermitente de levantar, empurrar ou arrastar peso (ex: remoção com pá) | 440 |
| Trabalho fatigante | 550 |

Fonte: Portaria nº3. 214/78 – NR15 – Anexo nº3 – Quadro nº 3.

A adequação do regime de trabalho e descanso foi determinada de acordo com o IBUTG e do tipo de atividade, para duas situações: regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de trabalho e regime intermitente, com descanso em outro local (Tabela 6).

Tabela 6 – Limites de tolerância, para exposição ao calor (BUTG, °C), em regime de trabalho intermitente com períodos de descanso no próprio local de prestação de serviço (NR-15)

| Regime de trabalho intermitente com descanso no próprio local de trabalho | Tipo de atividade | | |
|---|--------------------------|-----------------|---------------|
| | Leve | Moderada | Pesada |
| Trabalho contínuo | Até 30,0 | Até 26,7 | Até 25,0 |
| 45 minutos de trabalho 15 minutos de descanso | 30,1 a 30,6 | 26,8 a 28,0 | 25,1 a 25,9 |
| 30 minutos de trabalho 30 minutos de descanso | 30,7 a 31,4 | 28,1 a 29,4 | 26,0 a 27,9 |
| 15 minutos de trabalho 45 minutos de descanso | 31,5 a 32,2 | 29,5 a 31,1 | 28,0 a 30,0 |
| Não é permitida a execução de trabalho sem a adoção de medidas adequadas de controle. | Acima de 32,2 | Acima de 31,1 | Acima de 30,0 |

Fonte: Portaria nº3.214/78 – NR-15.

2.11 Nível de ruído – dB(A)

Os níveis do ruído nos postos de trabalho foram registrados por meio de um decibelímetro digital, modelo DL- 4200, marca ICEL, com certificado de calibração nº 20170302002, emitido em março de 2017, com memória para armazenamento de dados e acionamento do circuito de ponderação “A”, para leituras realizadas em modo “Slow”, escala de 30 a 130 dB, com precisão de $\pm 1,5$ dB e resolução de \pm de 0,1 dB (Figura 17). O equipamento foi colocado próximo ao ouvido do operador, para que o ruído fosse detectado com maior precisão (FUNDACENTRO - NHO - 1, 2001). Os limites de tolerância serviram como guia, não sendo interpretados como faixas de “perigo” e/ou “seguro”.



Figura 17 – Decibelímetro utilizado no registro do ruído na plataforma de trabalho (trator sem cabine) e no trator com cabine com ar condicionado

Os tempos de exposição aos níveis de ruído foram determinados de acordo com os limites de tolerância fixados na Tabela 7 (NR-15, anexo nº 1).

Tabela 7 – Critérios de ruído e tempo de exposição, estabelecidos para o Brasil, (NR-15)

| Nível de Ruído dB (A) | Máxima exposição diária permissível | Nível de Ruído dB (A) | Máxima exposição diária permissível |
|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| 85 | 8 horas | 98 | 1 hora e 15 minutos |
| 86 | 7 horas | 100 | 1 hora |
| 87 | 6 horas | 102 | 45 minutos |
| 88 | 5 horas | 104 | 35 minutos |
| 89 | 4 horas e 30 minutos | 105 | 30 minutos |
| 90 | 4 horas | 106 | 25 minutos |
| 91 | 3 horas e 30 minutos | 108 | 20 minutos |
| 92 | 3 horas | 110 | 15 minutos |
| 93 | 2 horas e 40 minutos | 112 | 10 minutos |
| 94 | 2 horas e 15 minutos | 114 | 8 minutos |
| 95 | 2 horas | 115 | 7 minutos |
| 96 | 1 hora e 45 minutos | - | - |

Fonte: BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego – NR-15, Anexo 01, 2011.

De acordo com a norma regulamentadora NR-15, em jornada de trabalho onde ocorre exposição a ruído de diferentes níveis, devem ser considerados os seus efeitos combinados, de forma que, neste caso, a dose diária é determinada por meio da Eq. (7).

$$\text{DOSE DIÁRIA} = (C_1/T_1 + C_2/T_2 + C_3/T_3 + \dots + C_n/T_n) \times 100 \quad (7)$$

em que:

Cn - tempo total a um nível de ruído específico (tempo de exposição real) em horas;

Tn - tempo máximo diário permissível a este nível em horas.

O resultado da soma destas frações é um número adimensional que também pode ser expresso em porcentagem. Essa será a dose de exposição diária do trabalhador ao ruído. Se o valor decorrente dessa soma for maior que 1 (um) ou maior que 100%, significa que a exposição ao ruído está acima do limite de tolerância o que indica insalubridade. Valores menores ou igual a 1 (um) indica ambiente não insalubre.

O cálculo do nível de exposição (NE) é definido pela Norma de Higiene Ocupacional (NHO-01), da FUNDACENTRO, com adaptação do cálculo matemático para fins de comparação com os limites de exposição diária apresentado pelo anexo 1 da NR-15 (Tabela 7). Isso porque o incremento de dobra de dose (q) da NHO-01 é diferente do apresentado pela NR-15. Pela NHO 01 (q=3) e pela NR-15, (q=5). Neste caso, foi utilizado o incremento de dobra de dose apresentado pela NR-15, pois, o resultado da equação correspondente ao nível de exposição normalizado (NEN) será comparado com os limites de tolerância apresentados pela NR-15.

A taxa de dobra para o incremento q=5 foi calculada por meio da Eq. (8).

$$TD = 5/\log (DD) \quad (8)$$

em que:

TD - taxa de duplicação (adimensional);

DD - nível de exposição diária do trabalhador ao ruído (NR-15), número puro ≤ 1 ou > 1 ;

5 - fator de dobra – NR-15 (adimensional)

Cálculo do nível médio de ruído representativo de exposição diária Eq. 9.

$$NE=10 \log (480/Te \times DD/100) + 85 \quad (9)$$

em que:

NE - nível médio de ruído representativo da exposição diária dB(A);

DD - dose de ruído diária do trabalhador em porcentagem;

Te - tempo de exposição em minutos;

Cálculo do nível de exposição normalizado (NEN). Para calcular-se o NEN a jornada de trabalho deve ser convertida para uma jornada padrão de 8 (oito) horas diárias. O NEN foi calculado pela Eq. 10.

$$NEN = NE + TD \times \log Te/480 \quad (10)$$

em que:

NEN - nível de exposição normalizado para jornada de oito horas dB(A);

TD - fator de dobra (para $q = 5$) (adimensional);

Te - tempo de exposição (min) e

NE - nível médio representativo da exposição diária dB(A).

Se o valor de NEN ultrapassar o nível de exposição normalizado indicado pela NR-15 (Tabela 7) como salubre, 85 dB(A), o ruído é tratado como agente nocivo à saúde do trabalhador, portanto, insalubre.

Para níveis de ruído com valores intermediários (Tabela 7) foi considerado o tempo máximo diário permissível, relativo ao nível imediatamente mais elevado. Os níveis inferiores a 80 dB(A), conforme a norma, não serão considerados no cálculo da dose.

2.12 Carga física de trabalho

A carga física de trabalho foi determinada a partir do levantamento da frequência cardíaca (bpm) do operador na execução das diversas fases do ciclo de trabalho. Os dados foram coletados por meio de um monitor de frequência cardíaca Timex – T5K630Ra (Figura 18), composto por um receptor digital de pulso, um transmissor com eletrodos e uma correia elástica (cinta). O equipamento foi instalado no tórax do operador, abaixo da linha peitoral, antes do início de cada jornada de trabalho e retirado ao final, sendo os valores de frequência cardíaca captados e armazenados em intervalos de 10 s. Ao final da jornada de trabalho, os dados foram descarregados em um computador por meio de uma interface e analisados utilizando o “*software*” Timex Device Agent”.



Figura 18 – Monitor cardíaco de pulso com cinta transmissora para registro da frequência cardíaca

Paralelamente à coleta de dados foi realizado um estudo de duração e movimentos de braços e pernas do operador que pudesse alterar a frequência cardíaca, portanto, foi utilizado o tempo consumido em cada fase da atividade para correlacioná-los com os dados de frequência cardíaca (bpm). Em seguida, foi calculada a carga cardiovascular (CCV, %) do trabalhador, conforme metodologia proposta por Apud (1989) com uso da seguinte expressão Eq. (11):

$$CCV = (FCT - FCR/FCM - FCR) \times 100 \quad (11)$$

em que:

CCV - carga cardiovascular (%);

FCT - frequência cardíaca de trabalho (bpm);

FCM - frequência cardíaca máxima do operador (220 – Idade) (bpm);

FCR - frequência cardíaca de repouso do operador (bpm).

A CCV (%) determinada foi comparada com o limite individual de capacidade cardiovascular de 40%. A frequência cardíaca limite, em bpm, para a carga cardiovascular de 40% foi calculada pela seguinte expressão Eq. (12).

$$FCL = 0,40 \times (FCM - FCR) + FCR \quad (12)$$

em que:

FCL - frequência cardíaca limite (bpm);

FCM - frequência cardíaca máxima (bpm);

FCR - frequência cardíaca de repouso (bpm).

Quando a carga cardiovascular ultrapassar 40% (acima da frequência cardíaca limite) é indicado à necessidade de reorganização do trabalho, estabelecendo-se o tempo de recuperação (repouso), por meio da seguinte expressão Eq. (13).

$$Tr = Ht \times (FCT - FCL) / FCT - FCR \quad (13)$$

em que:

Tr - tempo de repouso (min);

Ht - tempo de trabalho (min);

FCT - frequência cardíaca de trabalho, (bpm);

FCL - frequência cardíaca limite, (bpm);

FCR - frequência cardíaca de repouso (bpm).

A carga física de trabalho imposta em cada fase do ciclo de trabalho foi determinada a partir dos limites aceitáveis para um desempenho contínuo. Além disso, foi possível avaliar a necessidade de pausas adicionais e classificar o trabalho, conforme metodologia proposta por Apud (1997), apresentada na Tabela 8.

Tabela 8 – Classificação da carga física de trabalho

| Carga de trabalho físico (%) | Frequência cardíaca (bpm) |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| Muito leve | < 75 |
| Leve | 75 a 100 |
| Moderadamente pesada | 100 a 125 |
| Pesada | 125 a 150 |
| Pesadíssima | 150 a 175 |
| Extremamente pesada | > 175 |

Fonte: Apud, (1997).

2.13 Análise de dados

Os dados obtidos na condução da pesquisa foram submetidos à análise estatística descritiva, para obtenção de desvio padrão, média mais mediana, simetria; assimetria valores máximos e mínimos e coeficiente de variação associados às recomendações apresentadas na NR-15.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Trator plataformado sem cabine

3.1.1. Níveis de IBUTG (°C) no preparo periódico do solo

Verifica-se, na Figura 19, a variação do índice de bulbo úmido e termômetro de globo (IBUTG, °C), registrados na plataforma de trabalho do operador, durante a realização da operação do preparo periódico do solo, realizadas com a utilização do trator sem cabine.

Na operação de revolvimento do solo, o desvio padrão foi igual a 2,03 °C e a média dos dados do IBUTG foi de 28,65±2,03 °C, mediana de 28,30 °C, característico de assimetria positiva moderada. Enquanto os valores nos pontos mínimo e máximo foram de 25,69 e 32,87 °C, respectivamente; o coeficiente de variação foi de 7,09%.

Para o destorroamento/nivelamento, o desvio padrão foi de 1,06 °C e a média do IBUTG foi igual a 29,19±1,06 °C, mediana 29,37 °C, com assimetria negativa, valores mínimo e máximo de 27,45 e 31,16 °C, respectivamente; e coeficiente de variação de 3,64%.

A sulcagem apresentou desvio padrão de $0,86\text{ }^{\circ}\text{C}$ e IBUTG médio $29,08\pm 0,86\text{ }^{\circ}\text{C}$, mediana $29,12\text{ }^{\circ}\text{C}$, com simetria negativa moderada. Valores mínimo e máximo de $27,14$ e $30,98\text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente; e coeficiente de variação de $2,96\%$ (Figura 19).

Os valores de IBUTG acima de $32\text{ }^{\circ}\text{C}$, registrados na plataforma de trabalho do operador, ocorreram às 11 h 00 e 11 h 10 min, do dia 19 de outubro de 2017, durante a execução da operação de aração. Nesta operação, a temperatura do ar registrada foi de $37,26\text{ }^{\circ}\text{C}$, a temperatura de globo negro de $53,46\text{ }^{\circ}\text{C}$, a temperatura de bulbo úmido de $25,92\text{ }^{\circ}\text{C}$, a umidade relativa do ar de $38,14\%$ e a velocidade do vento de $3,2\text{ m s}^{-1}$ (11 h 00), gerando IBUTG de $32,56\text{ }^{\circ}\text{C}$. No segundo horário (11 h 10 min), a temperatura do ar foi de $37,43\text{ }^{\circ}\text{C}$, a temperatura de bulbo úmido foi de $26,24\text{ }^{\circ}\text{C}$, temperatura de globo negro de $53,79\text{ }^{\circ}\text{C}$, umidade relativa do ar igual a $38,98\%$ e velocidade do vento de $4,0\text{ m s}^{-1}$, resultando no IBUTG de $32,87\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esses valores foram os responsáveis pelos “*outliers*” no decorrer da operação de revolvimento do solo (Figura 19).

A umidade relativa do ar, em todas as operações, oscilou entre $38,14$ a $79,16\%$, com média de $61,17\%$ na plataforma de trabalho do operador, mostrando-se regular em relação aos padrões de conforto acima de 50% , segundo recomenda a Organização Mundial de Saúde - OMS, (2001), que sugere que a umidade relativa do ar varie entre 60 e 80% . A velocidade média do ar foi de $3,85\text{ m s}^{-1}$, resultado do deslocamento do trator que ampliou as perdas convectivas e garantiu a manutenção da temperatura na plataforma de trabalho do operador.

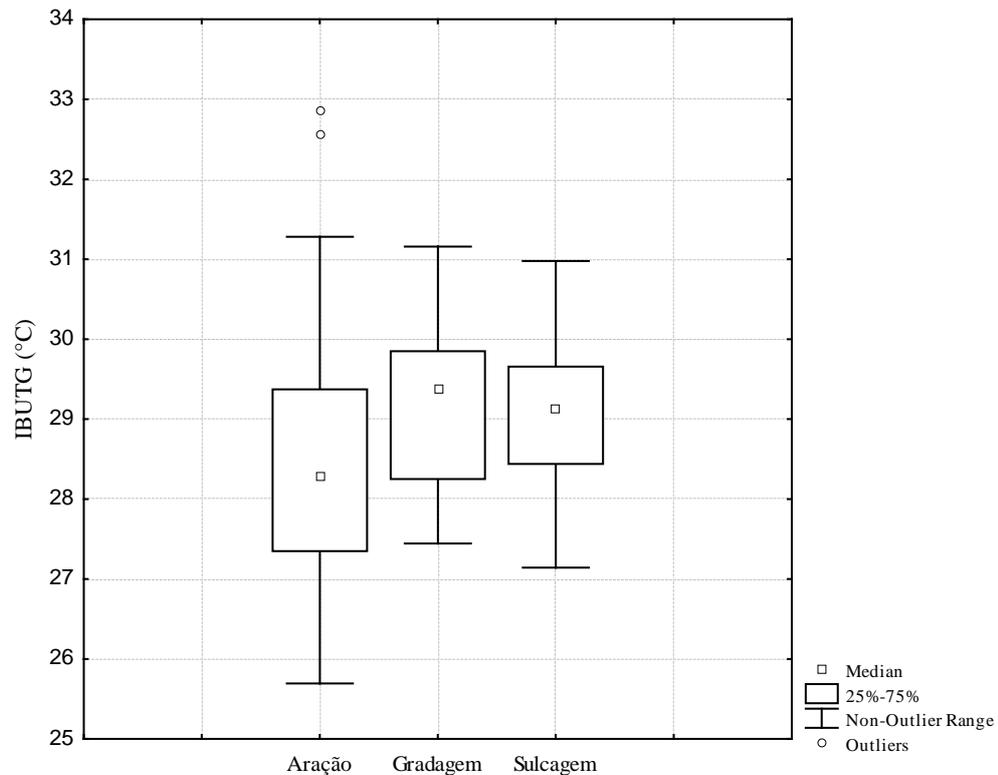


Figura 19 – Variação do índice de bulbo úmido e termômetro de globo negro (IBUTG, °C) durante o preparo periódico do solo no trator sem cabine ergonômica

Considerando os limites de tolerância ao calor, preconizados pelas normas (NR-15, 2011) e (NHO-06, 2002) e, também, a taxa de metabolismo por tipo de atividade, Portaria nº 3.214/78 – NR-15, anexo nº 3, quadro nº 3, foi determinado para o operador o consumo calórico de 150 Kcal h^{-1} , decorrente de suas atividades metabólicas realizadas em suas atividades (sentado, dirigindo), com tempo de exposição de oito (08) horas, em cada operação correspondente ao preparo periódico do solo (aração, gradagem e sulcagem).

Os valores de IBUTG (°C), em todas as operações, não ultrapassaram o valor estabelecido em trabalho contínuo para o tipo de atividade (leve) que, de acordo com a NR-15, corresponde a até 30 °C . O IBUTG (°C), para o preparo periódico do solo (Figura 19), nas condições em que o estudo foi desenvolvido, também não superou o valor estabelecido pela norma, com o índice de $28,97 \text{ °C}$, não havendo, portanto, necessidade da aplicação de intervenção, no trabalho e/ou, modificações na atividade desenvolvida pelo operador, como por exemplo, tempo de descanso, segundo (Tabela 06, anexo nº 3) da NR-15.

Em trabalho realizado por Souza (2014), em operação de aração e subsolagem com trator de pneu, os valores do IBUTG (°C), foram menores que 30 °C , para trabalho

leve contínuo, atendendo a norma vigente, portanto, não havendo necessidade de intervenção nas atividades desenvolvidas. Estevam et al., (2015), estudou variáveis ambientais e ergonômicas na operação com microtrator e encontrou valores de IBUTG (°C), de acordo com o limite de tolerância para este tipo de atividade descrito na NR-15, anexo 3, que recomenda valor máximo de 26,7 °C. Gasoling, (2008), realizando operação com um trator sem cabine da marca Valmet 68 ES, com 77 cv de potência no motor, encontrou IBUTG de 30,2 °C, resultando em sobrecarga térmica para o nível de atividade física exercida (leve), ressaltando que, o trator testado é um modelo ultrapassado do ponto de vista ergonômico, não possuindo proteção contra intempéries e de irradiação de calor do motor para as pernas do operador.

Dual e Weerdmeester (1998) sugerem que temperatura do ar acima de 30 °C pode causar riscos à saúde do operador e que, se o tempo de exposição do trabalhador ao ambiente for diminuído o organismo pode eliminar o excesso de carga térmica, restabelecendo seu equilíbrio. Durante os trabalhos de campo, para a realização do preparo periódico do solo, não se encontrou variações bruscas de temperaturas que superasse 4 °C, nas operações de aração, gradagem e sulcagem. Quedas bruscas de temperatura (4 °C), segundo Gallois (2002), pode causar lesões térmicas e também, riscos de acidentes em função da queda de capacidade física e mental do trabalhador.

3.1.2 Níveis de ruído no preparo periódico do solo

Observa-se na Figura 20, a variação dos níveis de ruído registrados na plataforma de trabalho do operador, durante a realização das operações do preparo periódico do solo (gradagem aradora, gradagem niveladora e sulcagem) com a utilização do trator sem cabine.

Na operação de revolvimento do solo, o desvio padrão foi de 0,87 dB(A), a média dos dados do ruído foi igual a $90,12 \pm 0,87$ dB(A), a mediana 90 dB(A), dados com valores assimétricos positivo. Os valores nos pontos mínimos e máximos foram 88,60 dB(A) e 92 dB(A), respectivamente, enquanto o coeficiente de variação foi de 0,96%.

A gradagem apresentou desvio padrão de 0,76 dB(A), com média de $89,63 \pm 0,76$ dB(A), mediana 89,6 dB(A). Os dados apresentam assimetria negativa moderada. Valores mínimos e máximos de 88,40 dB(A) e 91,1 dB(A), respectivamente, e coeficiente de variação de 0,85%.

Para sulcagem, o desvio padrão foi de 0,98 dB(A), ruído médio $89,77 \pm 0,98$ dB(A), mediana 89,65 dB(A), assimetria negativa, valores mínimos e máximos de 87,80 dB(A) e 92,00 dB(A), respectivamente, e coeficiente de variação de 1,09% (Figura 20).

Portanto, verifica-se incidência de altos níveis de ruído no posto de trabalho do operador, durante a realização do preparo periódico do solo, com valor da ordem de $89,84 \pm 0,87$ dB(A), resultante da média das jornadas de trabalhos diários para a realização das operações de aração, de gradagem e de sulcagem, durante os trabalhos com o trator sem cabine.

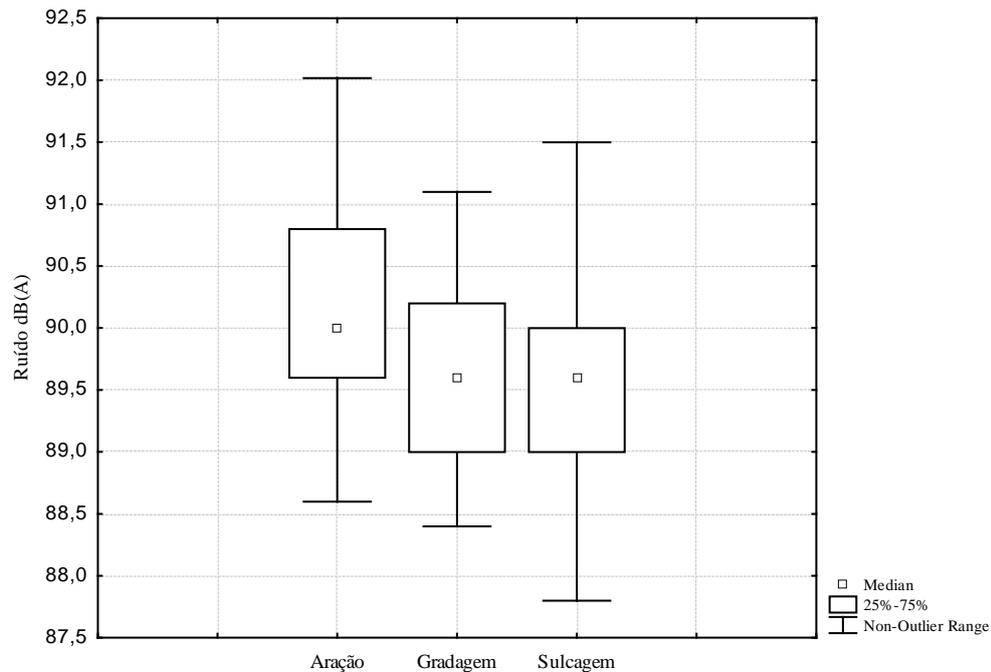


Figura 20 – Variação dos níveis de ruídos durante o preparo periódico do solo no trator sem cabine

A variação dos níveis de ruídos máximos e mínimos nas operações que fizeram parte do preparo periódico do solo, para o plantio de cana-de-açúcar, coletados na plataforma de operação do trator sem cabine, oscilam em diferentes horários durante as jornadas de trabalho. Essas oscilações podem ter ocorrido em razão de sobre carga de tração com maior exigência do motor e, os valores mais baixos, por trabalhos em locais onde o solo se apresentava mais pulverizados (solto), não necessitando de maior esforço de tração, do conjunto mecânico nas operações especificadas (Figura 20).

Segundo o Ministério do Trabalho e do Emprego - MTE (2011), os operadores de máquinas exposto a níveis de ruído fora do limite recomendado pela NR-15, máximo de

85 dB(A) por jornada de trabalho de oito horas diária, estão sujeitos a sérios problemas de saúde.

Durante a operação de preparo periódico do solo, com o trator sem cabine, o limite de exposição do operador ao ruído foi superior ao estabelecido pela norma, para uma jornada de oito horas diária.

O nível para o preparo periódico do solo correspondeu a uma dose diária de 2 ou 200%, comparando-se este valor ao nível diário igual a 1 (um) ou 100% por 8 horas/dia, recomendado pela NR-15. Portanto, o operador encontrava-se exposto a um incremento que dobra de nível de ruído, que correspondeu a cinco ($q=5$), em relação ao nível de 85 dB(A), permitido pela legislação.

Neste caso, os trabalhadores submetidos a um nível de ruído equivalente ao encontrado neste estudo (trator sem cabine), ficam expostos a riscos que podem causar danos físicos, e psíquicos, além de ser comprometido o seu conforto e sua produtividade por insalubridade acústica, em sua jornada de trabalho. O tempo em horas permitido por dia, para que o operador possa trabalhar com o trator sem cabine, em local aberto e exposto ao sol, na execução das três operações (aração, gradagem e sulcagem), no solo do latossolo distrófico amarelo, textura franco argilo arenosa, é de 4 horas, uma vez que, todas as operações realizadas neste estudo, apresentaram níveis de ruído equivalentes a 90 dB(A), níveis superiores ao recomendado pela NR-15.

O valor do ruído encontrado neste trabalho corrobora estudos realizados por Farias et al., (2014), que estudaram o nível de ruído no posto de operação, em quatro tratores sem cabines, Massey Ferguson, MF 4275, 94,97 dB(A); Valtra, A750, 93,74 dB(A); John Deere, 5078E, 94,36 dB(A) e New Holland TL 75E 96,20 dB (A) em que todos apresentaram ruído superior ao estabelecido pela norma para exposição máxima de 8 horas diárias.

Sobrinho et al., (2008), avaliou o nível de ruído no local de trabalho do operador utilizando um trator Massey Ferguson 265 sem cabine de porte médio, de pneu, em operação de aração, em que o nível médio registrado em trabalho de campo, foi acima do recomendado pela norma, 94 dB(A), trator de porte médio e com regime de rotação motora de 1600 RPM que, pela NR-15, só permite jornada de trabalho equivalente a 02h:15min por dia. Estudos realizados por Simone et al., (2006), deduzem que a permanência em locais de trabalho que apresentam níveis de ruído de 90 dB(A) oferecem grande risco de surdez, que aumenta em função da dependência da frequência dos ruídos e do tempo de permanência nesta situação.

3.1.3 Frequência cardíaca do operador durante o preparo periódico do solo

Na Figura 21, nota-se a oscilação da frequência cardíaca do operador durante a realização da operação de preparo periódico do solo no trator sem cabine.

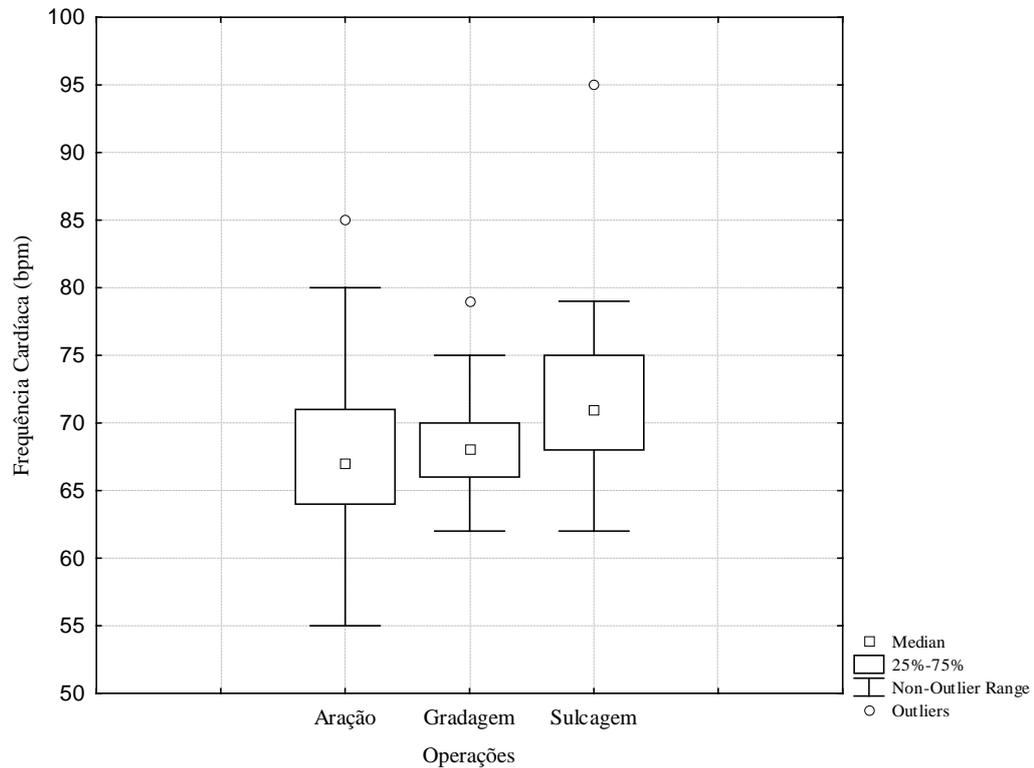


Figura 21 – Variação da frequência cardíaca do operador durante a operação de preparo periódico do solo no trator sem cabine

O desvio padrão da frequência cardíaca no decorrer do preparo periódico do solo foi de 6,99 bpm, mediana de 68,5 bpm, com discreta assimetria positiva. Os valores de frequência cardíaca máximo e mínimo foram de 97 e de 55 bpm, respectivamente (Figura 21).

As frequências cardíacas máximas registradas durante a operação de revolvimento do solo apresentou valor da ordem de 85 bpm, às 10 h 40 min e a mínima de 55 bpm, às 10 h 50 min. Na operação de gradagem, a maior frequência foi de 97 bpm, às 08 h 50 min e a mais baixa, 62 bpm, às 10 h 10 min. Na operação de sulcagem a frequência cardíaca máxima foi de 95 bpm, às 12 h 10 min e mínima de 62 bpm, às 11 h 40 min, 11 h 50 min e às 12 h 00 min, realizadas no período de 19 a 21 de outubro de 2017.

As frequências cardíacas de valores mais altos podem ter sido ocasionadas pelos movimentos de braços, pernas e tronco do operador para realizar manobras com o trator,

enquanto que os valores mais baixos, quando o mesmo trabalhava em linha reta, em que não se requer muito esforço e/ou também, pela própria condição física do operador.

O operador apresentou aumento na frequência cardíaca superior a 50%, em relação à sua frequência de repouso, 62 bpm, em duas operações do preparo periódico, gradagem e sulcagem. Na operação de gradagem, atingiu 97 bpm, correspondente a 56% em relação à condição de repouso, ocorreu no dia 20 de outubro, às 8 h 50 min, quando a temperatura da plataforma de operação estava com 27,95 °C, a umidade relativa do ar igual a 77,94%, temperatura de termômetro de globo negro de 35,65 °C e a velocidade do vento 1,7 m s⁻¹.

Na sulcagem, a frequência cardíaca chegou a 95 bpm, correspondente a 53,22% em relação à condição de repouso, no dia 21 de outubro, às 12 h 10 min, quando a temperatura do ar na plataforma foi de 32 °C, temperatura de termômetro de globo negro de 43,43 °C, velocidade do vento 4,5 m s⁻¹ e a umidade relativa do ar igual a 54,61%. Essas variações na frequência cardíaca do operador possivelmente ocorreram, em decorrência de outros esforços físicos suplementares durante as operações, ou mesmo, pela reação de seu metabolismo, frente ao ambiente térmico.

3.1.4 Carga física de trabalho do operador durante o preparo periódico do solo

A frequência cardíaca do operador em repouso foi de 62 bpm e a frequência cardíaca máxima, considerando a sua idade, poderia alcançar até 181 bpm. Nas condições em que se apresentaram os dados aferidos e em que foi desenvolvida a pesquisa, a carga cardiovascular (CCV) do operador foi igual a 6,02% e sua frequência cardíaca limite igual a 109,8 bpm (Tabela 9).

Dessa forma, a média da carga cardiovascular (CCV, %) do operador se manteve inferior a 75 bpm, não excedendo a carga cardiovascular de 40% acima da frequência cardíaca limite do mesmo, sendo classificada como carga de trabalho muito leve (Apud, 1997).

Trabalho semelhante foi realizado por Lopes et al., (2011) com o objetivo de determinar a carga física de trabalho em operadores de máquinas, cujos resultados indicaram que a carga cardiovascular (CCV) foi mantida abaixo do limite máximo recomendado de 40% e classificada como muito leve.

Nenhuma operação de campo exigiu esforço físico de forma que a carga cardiovascular ultrapassasse o limite de 40% da frequência cardíaca de trabalho. Segundo Apud (1997), a sobrecarga física do trabalho na agricultura mesmo que

mínima, pode produzir enfermidade no organismo humano, mesmo não ultrapassando o limite recomendado.

Tabela 9 – Classificação da carga física de trabalho (CCV, %) do operador durante sua atividade na realização da operação do preparo periódico do solo no trator sem cabine

| OPERAÇÃO | FCT | CCV | FCL | FCR | FCM | CLASSIFICAÇÃO DO TRABALHO |
|-------------------------|-----|-------------|-------|-----|-----|---------------------------|
| Gradagem pesada | 65 | 2,52 | 109,8 | 62 | 181 | Muito leve |
| Gradagem média | 70 | 6,72 | 109,8 | 62 | 181 | Muito leve |
| Sulcagem | 72 | 8,82 | 109,8 | 62 | 181 | Muito leve |
| Prep. Periódico do solo | 69 | 6,02 | 109,8 | 62 | 181 | Muito leve |

FCT (frequência cardíaca de trabalho), bpm; FCL (frequência cardíaca limite) bpm; FCR (frequência cardíaca de repouso) bpm e FCM (frequência cardíaca máxima), bpm. CCV (%)

3.2 Trator com cabine com cabine ergonômica

3.2.1. Níveis de IBUTG (°C) no preparo periódico do solo

Verifica-se na Figura 22, a variação do índice de bulbo úmido e termômetro de globo (IBUTG), registrados no local de trabalho do operador, durante a realização das operações de preparo periódico do solo com a utilização do trator com cabine.

Na operação de revolvimento do solo, o desvio padrão foi de 0,30 °C e a média dos dados 18,79±0,30 °C, mediana 18,83 °C, com assimetria negativa. Enquanto os valores nos pontos mínimos e máximos foram de 18,02 e 19,71 °C, respectivamente; o coeficiente de variação foi de 1,60%.

Para a gradagem, o desvio padrão foi de 0,21 °C e a média do IBUTG, igual a 18,73±0,21 °C, mediana 18,67 °C, com simetria positiva, valores mínimos e máximos de 18,43 e 19,08 °C, respectivamente e coeficiente de variação de 1,12%.

A sulcagem apresentou IBUTG médio de 20,43±0,23 °C, mediana 20,53 °C, com simetria negativa. Valores mínimos e máximos de 19,96 e 20,63 °C, respectivamente; e coeficiente de variação de 1,76%. (Figura 22).

Os valores de IBUTG abaixo de 18,50 °C, registrados na cabine de trabalho do operador ocorreram às 15 h 20 min, 15 h 40 min, 15 h 50 min e 16 h 30 min do dia 26 de outubro de 2017, durante a execução da operação com a grade aradora pesada. Nesta operação, a temperatura do ar registrada foi de 21,72 °C, a temperatura de bulbo úmido de 16,09 °C, a temperatura de globo negro de 22,91 °C, a umidade relativa do ar 52,83% e a velocidade do ar de 1 m s⁻¹ (15 h 20 min), gerando um IBUTG de 18,02 °C.

No segundo horário (15 h 40 min), a temperatura do ar se manteve em 21,72 °C, a temperatura de bulbo úmido igual a 16,47 °C, temperatura de globo negro de 22,91 °C, a umidade relativa do ar 55,69% e a velocidade do vento de 1 m s⁻¹, gerando um IBUTG de 18,28 °C. No terceiro horário (15 h 50 min), a temperatura do ar foi de 21,82 °C, a temperatura de bulbo úmido igual de 16,66 °C, temperatura de globo negro de 22,91 °C, a umidade relativa do ar 56,54% e a velocidade do vento de 1 m s⁻¹, gerando um IBUTG de 18,45 °C. No quarto horário (16 h 30 min), a temperatura do ar foi de 21,87 °C a temperatura de bulbo úmido igual a 16,58 °C, temperatura de globo negro de 23,06 °C, umidade relativa do ar igual a 55,65% e velocidade do vento de 1 m s⁻¹, resultando em um IBUTG de 18,40 °C. Esses valores foram responsáveis pelos “outliers” no decorrer da operação de aração do solo com o trator com cabine ergonômica (Figura 22).

A umidade relativa do ar, em todas as operações, oscilou entre 49,66 a 59,69%, com média de 55,21% no interior da cabine de trabalho do operador, mostrando-se regular aos padrões de conforto acima de 50%, de 60 a 80% (OMS, 2001). A velocidade média do ar foi de 1 m s⁻¹, proveniente da corrente de avento produzida pelo aparelho de ar condicionado, dentro da cabine, ampliando as perdas convectivas e garantindo a manutenção da temperatura no ambiente de trabalho. O tempo de exposição do operador foi de oito horas diária, em cada operação do preparo periódico do solo e, o condicionador de ar, foi regulado para operar com temperatura de 22 °C, na cabine de operação.

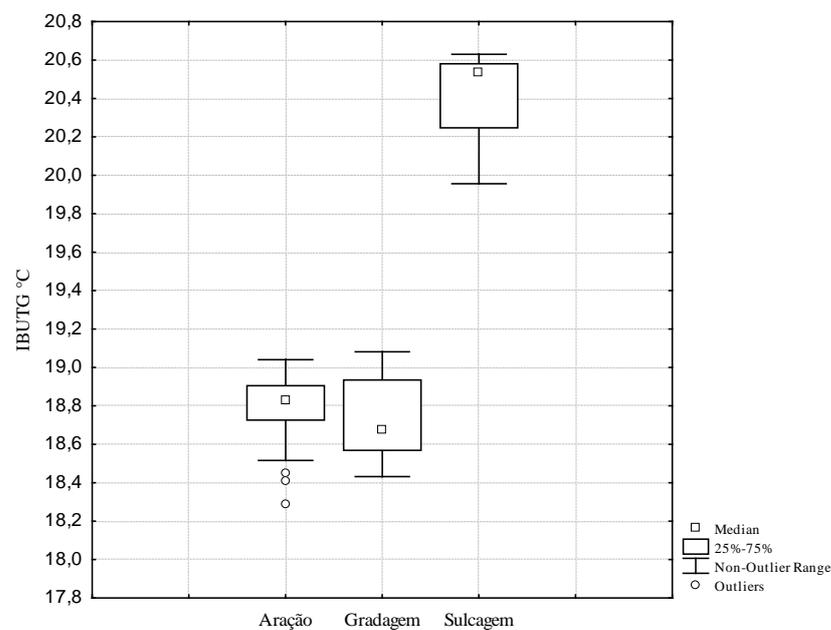


Figura 22 – Variação dos índices de bulbo úmido e termômetro de globo negro (IBUTG, °C) durante o preparo periódico do solo no trator com cabine ergonômica.

Considerando os limites de tolerância ao calor, preconizados pelas normas (NR-15) e (NHO-06, 2002) e, também a taxa de metabolismo por tipo de atividade, Portaria nº 3.214/78 – NR-15, anexo nº3, foi determinado para o operador o consumo calórico de 150 Kcal h⁻¹, decorrentes de suas atividades metabólicas realizadas em suas atividades (sentado, dirigindo).

Os valores de IBUTG (°C), em todas as operações, utilizando o trator com cabine, não ultrapassaram o valor estabelecido em trabalho contínuo para o tipo de atividade (leve) que, de acordo com a NR-15, corresponde a até 30 °C, para o preparo periódico do solo (Figura 22), nas condições em que o estudo foi desenvolvido, também não superou o valor estabelecido pela norma, índice igual 19,32 °C, não havendo, portanto, necessidade da aplicação de intervenção, no trabalho e/ou, modificações na atividade desenvolvida pelo operador, como tempo de descanso como estabelece a Tabela 06, anexo nº 3 da NR-15.

Vários pesquisadores nacionais e internacionais concordam que o conceito de conforto térmico é bem relativo, dependendo de pessoa para pessoa, em função de variáveis meteorológicas como temperatura do ar, umidade relativa do ar e da sensibilidade individual. Woodson (2008) propõe que, o limite de conforto para seres humanos encontra-se entre 18 e 24 °C, com umidade relativa do ar variando de 60 a 80%.

3.2.2. Níveis de ruído no preparo periódico do solo

Observa-se na Figura 23 a variação dos níveis de ruído registrados no local de trabalho do operador, durante a realização das operações do preparo periódico do solo (aração, gradagem e sulcagem) com a utilização do trator com cabine.

Na operação de aração o desvio padrão foi de 3,69 dB(A), a média dos dados do ruído foi igual a 80,99±3,69 dB(A), a mediana 80,10 dB(A), dados com valores de simetria positiva moderada. Os valores nos pontos mínimos e máximos foram 76,90 dB(A) e 86,10 (dB(A), respectivamente, enquanto o coeficiente de variação foi de 4,56%.

A gradagem apresentou desvio padrão de 1,69 dB(A), com média de 82,11±1,69 dB(A), mediana 81,70 dB(A). Os dados apresentam assimetria negativa moderada. Valores mínimos e máximos de 80,80 dB(A) e 87,80 dB(A), respectivamente, e coeficiente de variação de 2,06%.

Para a sulcagem, o desvio padrão foi de 2,75 dB(A), ruído $77,75 \pm 2,75$ dB(A), mediana 78,55 dB(A), assimetria positiva moderada. Valores mínimos e máximos de 70,10 dB(A) e 79,60 dB(A), respectivamente, e coeficiente de variação de 3,54% (Figura 23).

Portanto, verificam-se níveis de ruído aceitáveis no local de trabalho do operador no trator, durante a realização do preparo periódico do solo, com valor de $80,28 \pm 2,71$ dB(A), resultante da média das jornadas de trabalhos diários para a realização das operações de aração, de gradagem e sulcagem, durante o trabalho com o trator com cabine.

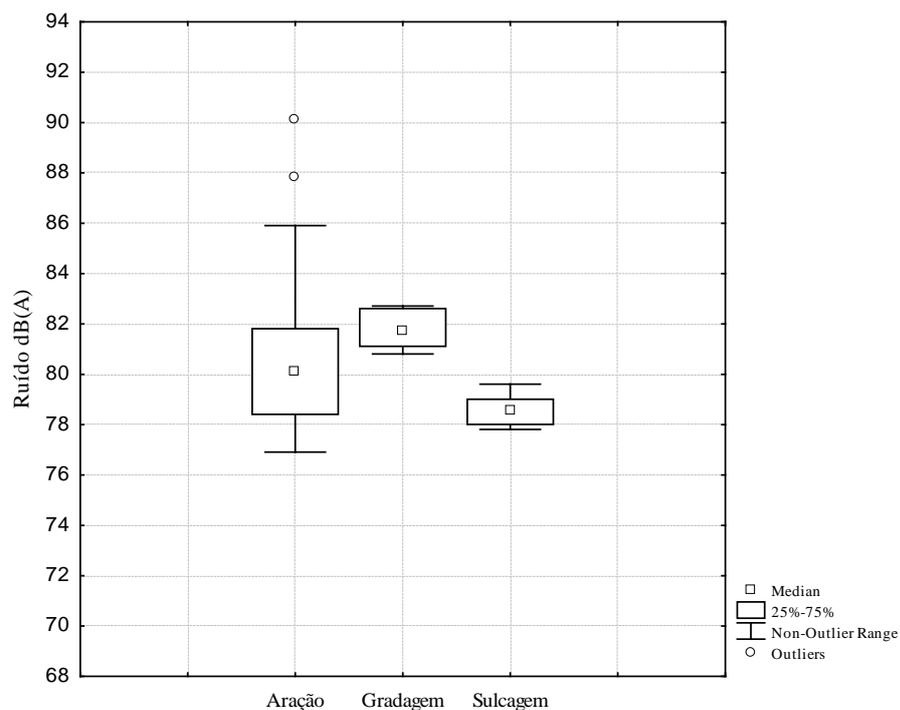


Figura 23 – Variação dos níveis de ruídos durante o preparo periódico do solo no trator com cabine ergonômica

A variação dos níveis de ruídos máximos e mínimos nas operações que fizeram parte do preparo periódico do solo, para o plantio de cana-de-açúcar, coletados na cabine do trator, oscilam em diferentes horários durante as jornadas de trabalho. Essas oscilações podem ter ocorrido em razão de sobre carga de tração com maior exigência do motor e, os valores mais baixos, por trabalhos em locais onde os solos se apresentavam mais pulverizados (soltos), não necessitando de solicitação de maior esforço de tração do conjunto mecânico, nas operações especificadas (Figura 23).

Durante a operação de preparo periódico do solo, com o trator com cabine, o limite de exposição do operador ao ruído foi inferior ao estabelecido pela norma, para uma jornada de oito horas diária.

O nível para o preparo periódico do solo correspondeu a uma dose diária de 0,56 ou 56%, comparando este valor, ao nível diário igual a 1 (um) ou 100% por 8 horas/dia, recomendado pela NR-15. Portanto, o operador encontrava-se trabalhando conforme determina norma estabelecida pelo Ministério do Trabalho e do Emprego – MTE (2011), em que o limite máximo permitido pela legislação corresponde a 85 dB(A), NR-15.

Neste caso, os trabalhadores submetidos a um nível de ruído equivalente encontrado neste estudo, segundo a legislação vigente (NR-15), ficam menos expostos a riscos que possam causar danos físicos, e psíquicos, além de não ser comprometido o seu conforto e sua produtividade por insalubridade acústica, em sua jornada de trabalho. O tempo em horas permitido por dia, para que o operador possa trabalhar com o trator com cabine ergonômica (ar condicionado), em local aberto e exposto ao sol, na execução das três operações (aração, gradagem e sulcagem) é de 08 horas, uma vez que, todas as operações realizadas neste estudo, apresentaram níveis de ruído equivalentes a 80,28 dB(A), níveis inferiores ao recomendado pela NR-15.

O valor do nível de ruído encontrado neste trabalho encontra-se dentro dos limites de ruídos divulgados por Minette et. al. (2007), através de estudo realizado com três tratores cabinados, onde foram encontrados ruídos que variaram de 84,2 dB(A); 78,9 dB(A) e 74,9 dB(A), sem uso de serra, e concluíram que, o nível ruído para as três máquinas avaliadas está abaixo do limite aceitável no Brasil, para uma jornada de oito horas de trabalho.

Portanto, segundo Aybek (2010) e com base nos resultados alcançados no presente trabalho, a utilização de cabines ergonômicas em tratores agrícolas pode ser um método para reduzir a exposição do operador ao ruído.

3.2.3. Frequência cardíaca do operador durante o preparo periódico do solo

Na Figura 24, nota-se a oscilação da frequência cardíaca do operador durante a realização da operação de preparo periódico do solo no trator com cabine ergonômica.

O desvio padrão da frequência cardíaca no decorrer do preparo periódico do solo foi de 8,37 bpm, mediana de 66,84 bpm, com assimetria positiva. Os valores de

frequência de cardíaca máximo e mínimo foram de 86,34 e 58 bpm, respectivamente (Figura 24).

As frequências cardíacas máximas registradas durante a operação de aração apresentou valor na ordem de 90 bpm, às 08 h 30 min e a mínima de 58 bpm, às 09 h 50 min. Na operação de gradagem, a maior frequência foi de 84 bpm, às 14 h 50 min e a mais baixa 56 bpm às 10 h 50min. Na operação de sulcagem a frequência cardíaca máxima foi de 85 bpm às 11 h 30 min, e a mínima de 61 bpm às 10 h 40 min, todas, registradas no período de 26 a 28 de outubro de 2017.

As frequências cardíacas de valores mais altos podem ter sido ocasionadas pelos movimentos de braços, pernas e tronco do operador para realizar manobras com o trator, enquanto que os valores mais baixos, quando o mesmo trabalhava em linha reta, em que não se requer muito esforço e/ou também, pela própria condição física do operador.

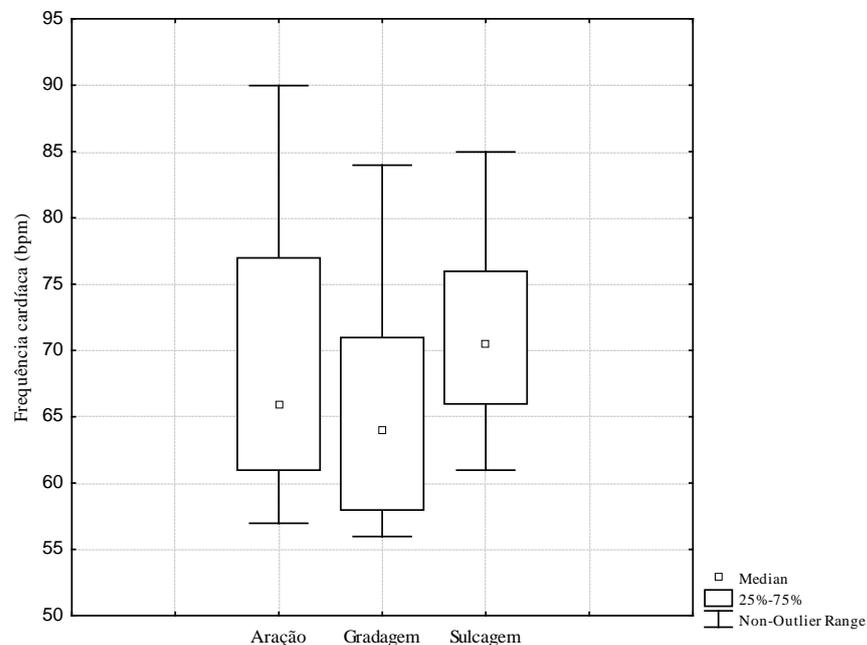


Figura 24 – Variação dos níveis de frequência cardíaca do operador durante o preparo periódico do solo no trator com cabine ergonômica

O operador apresentou aumento da frequência cardíaca superior a 40% em relação à sua frequência de repouso, 62 bpm, na operação de aração durante o preparo periódico do solo, atingiu 90 bpm, correspondente a 45,2% em relação à condição de repouso, que ocorreu às 08 h 30 min do dia 26 de outubro, quando a temperatura do ar na cabine estava com 22,68 °C, a umidade relativa do ar igual a 52,39%, temperatura de termômetro de globo negro de 23,90 °C e a velocidade do vento 1 m s⁻¹.

Na operação de gradagem, durante o preparo do solo, a frequência cardíaca chegou a 84 bpm, o que correspondeu a um acréscimo de 36% em relação à condição de repouso, no dia 27 de outubro, às 14 h 50 min, quando a temperatura do ar na cabine do trator, foi de 22,20 °C, temperatura de termômetro de globo negro de 23,40 °C, umidade relativa do ar igual a 55,79% e velocidade do vento 1 m s⁻¹.

Durante a operação de sulcagem, no preparo do solo, a frequência cardíaca do operador atingiu 85 bpm, correspondente a um acréscimo de 37,2% em relação à condição de repouso, no dia 28 de outubro, às 11 h 30 min, quando a temperatura do ar na cabine, estava com 22,87 °C, temperatura de termômetro de globo negro de 30,57 °C, umidade relativa do ar de 55,89% e a velocidade do vento igual a 1 m s⁻¹.

Essas variações na frequência cardíaca do operador, possivelmente ocorreram, em decorrência de outros esforços físicos suplementares durante as operações, ou mesmo, pela reação de seu metabolismo, frente ao ambiente térmico.

3.2.4 Carga física de trabalho do operador durante o preparo periódico do solo

A frequência cardíaca do operador em repouso foi de 62 bpm e a frequência cardíaca máxima, considerando sua idade, poderia alcançar até 181 bpm. Nas condições em que se apresentaram os dados aferidos e em que foi desenvolvida a pesquisa, a carga cardiovascular (CCV), do operador foi igual a 5,33% e sua frequência cardíaca limite igual a 109,8 bpm (Tabela 10).

Dessa forma, a média da carga cardiovascular (CCV, %) do operador se manteve inferior a 75 bpm, não excedendo a carga cardiovascular de 40% acima da frequência cardíaca limite do operador, sendo classificado como carga de trabalho muito leve (APUD, 1997).

Em trabalho semelhante realizado por Lopes et al., (2011) com o objetivo de determinar a carga física de trabalho em operadores de máquinas, cujos resultados indicaram que a carga cardiovascular (CCV), foi mantida abaixo do limite máximo recomendado de 40% e, classificada como muito leve.

Nenhuma operação de campo exigiu esforço físico de forma que a carga cardiovascular (CCV) ultrapassasse o limite de 40% da frequência cardíaca de trabalho. Segundo Apud, (1997), a sobrecarga física do trabalho na agricultura mesmo que mínima, pode produzir enfermidade no organismo humano mesmo não estando ultrapassando o limite recomendado.

Tabela 10 – Classificação da carga física de trabalho (CCV, %) do operador durante sua atividade na realização da operação do preparo periódico do solo no trator com cabine

| OPERAÇÃO | FCT | CCV | FCL | FCR | FCM | CLASSIFICAÇÃO DO TRABALHO |
|-------------------------|-----|-------------|-------|-----|-----|---------------------------|
| Aração | 68 | 5,04 | 109,8 | 62 | 181 | Muito leve |
| Gradagem | 64 | 1,68 | 109,8 | 62 | 181 | Muito leve |
| Sulcagem | 73 | 9,25 | 109,8 | 62 | 181 | Muito leve |
| Prep. Periódico do solo | 68 | 5,33 | 109,8 | 62 | 181 | Muito leve |

FCT (frequência cardíaca de trabalho), bpm; FCL (frequência cardíaca limite), bpm; FCR (frequência cardíaca de repouso), bpm e FCM (frequência cardíaca máxima), bpm e CCV em %

4. CONCLUSÕES

Para a realização do preparo periódico do solo (aração, gradagem e sulcagem), com a utilização do trator sem cabine, identificou-se insalubridade residual por ruído em todas as operações, o que permite ao operador uma jornada de trabalho de apenas 4 horas por dia.

Os demais indicadores de estresse calor (IBUTG, °C), e carga física de trabalho, para o trator sem cabine e com cabine ergonômica, nas operações de preparo periódico do solo para o cultivo da cana-de-açúcar, apontam valores aceitáveis para uma jornada de trabalho diária de 8 horas.

5. REFERÊNCIAS

APUD, E. **Guide-lines on ergonomics study in forestry**. Genebra: ILO, 241 p. 1989.

APUD, E. **Temas de ergonomia aplicados al aumento de La productividad de La mano de obra em cosecha florestal**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 3, Vitória, 1997. Vitória: SIF/DEF, 1997, p. 46-60.

AYBEK, A.; KAMER, H. A.; ARSLAN, S. Personal noise+A1: A163 exposures of operators of agricultural tractors. **Appled Ergonomics**, v. 41, p. 274-281, 2010.

CONAB – Companhia Brasileira de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira: Cana-de-açúcar, safra 2017/2018*. Primeiro Levantamento, v.2, n.1 p. 1- 28, Brasília, 2015a. Acessado em: 29 de agosto de 2018, de [HTTP://WWW.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_08_45_51_boleti_m_cana_portugues_-_4o_lev_-_14-15.pdf](http://WWW.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_04_13_08_45_51_boleti_m_cana_portugues_-_4o_lev_-_14-15.pdf)

DUL, J. & WEERDMEEESTER, B. **Ergonomia prática**. 1ª ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 412p.

ESTEVAM, Francisca Nivanda de Lima. **Variáveis ambientais e ergonômicas na operação com microtrator**. 2015. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. NHO 01: **Avaliação da exposição ocupacional ao ruído**. São Paulo, 2001.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. NHO 06: **Avaliação da exposição ocupacional ao calor**. São Paulo, 2002.

GALLOIS, N. S. P. **Análise das condições de stress e conforto térmico sob baixas temperaturas em indústrias frigoríficas de Santa Catarina**. 2002. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

GIAMPAOLI, E, ASTETE, M. W., ZILDAN, L. N. **Riscos Físicos**. Editora Fundacentro. São Paulo, 2006. 112p.

GOSLING, Marlusa; Araújo, Gilberto Cifuentes Dias. Saúde física do trabalhador rural submetido a ruídos e à carga térmica: um estudo em operadores de tratores. **O Mundo da Saúde**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 275-286, 2008.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO. **ISO 7730 1994**: Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, 1994.

MINETTE, LUCIANO J. SILVA, EMÍLIA P. DA, SOUZA, AMAURY P. DE SOUZA & SILCA KARLA R. *Avaliação dos níveis de ruído e calor em máquinas de colheita florestal*. (Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental), de 2007.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E DO EMPREGO. *NR-15: Atividades e operações insalubres*. <[http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A36A27C140136A8089B344C39/NR-15%20\(atualizada%20,2011\)%20II](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A36A27C140136A8089B344C39/NR-15%20(atualizada%20,2011)%20II)>. Acesso em: em julho 2016.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). *Occupaccional and community noise*. Geneva: World Health Organization. 2001.

PEREIRA, Antônio Roberto; ANGELOCCI, Luiz Roberto; SENTELHAS, Paulo César. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba, Ed. Agropecuária, 2002. 478p.

SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. *NR-1 a 34. CLT ARTS. 154 a 201 – LEI nº 6.514, de 08/12/1977, PORTARIA Nº 3.214, DE 08/06/1978*. 67ª Edição. São Paulo, 2011.

SIMONE, M. et al. **EL TRACTOR AGRÍCOLA – fundamentos para la selección y uso**. Buenos Aires: INTA, 2006. 256 p.

SOBRINHO, ANTONIO TRAVASOS. *Ruído a que um tratorista está exposto na aração do solo com trator de pneu*. UFRPE - Expoex, 2008.

SOBRINHO, ANTONIO TRAVASSOS. **Ruído a que o tratorista está exposto durante o preparo do solo com trator de pneu.** 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 1992.

STULL, Roland. Wet-Bulb Temperature from relative humidity and air temperature. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, Boston, v.50. n. 11, p. 2267 – 2269, 2011.

WOODSON, Wesley. E. **Human Engineering Guide for Equipament Designers.** University of California, Los Angeles, 2008. 204 p.

Capítulo 2 – PREDIÇÃO DO ÍNDICE DE CONFORTO OCUPACIONAL PARA OPERAÇÃO DE TRATORES AGRÍCOLAS

RESUMO

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de formular modelo matemático multivariado representativo do índice de conforto operacional na operação de trator agrícola, com base nos indicadores termoacústicos e da carga física de trabalho, no preparo periódico do solo para o cultivo da cana-de-açúcar. A pesquisa foi desenvolvida na Usina Petribu, localizadas no município Carpina, PE. O estudo foi conduzido em uma área de 4,3 ha, por meio de um conjunto mecanizado sem cabine, acoplado aos respectivos implementos, para as operações de aração, gradagem e sulcagem, para uma jornada de trabalho diária de oito horas (8:00 h às 17:00 h, com um intervalo de 1 hora para refeição), executadas pelo mesmo operador. Os registros de dados na plataforma de trabalho do operador foram: a temperatura do ar (T_{bs} , °C); a temperatura de globo negro (T_{gn} , °C); a umidade relativa do ar (UR, %); a frequência cardíaca do operador (F.C., bpm); a temperatura de superfície da pele do operador ($T_{cabeça}$ (Tr-1), temperatura da periférica da cabeça °C (Tr-2), temperatura periférica do braço °C); o ruído; dB(A) e a velocidade do ar (Vel. do ar, $m\ s^{-1}$), registrados por meio de instrumentação específica, com registro automático de dados. Os dados foram submetidos à análise exploratória pela técnica de componentes principais. A elaboração do modelo de predição do índice e conforto operacional (ICO) foi realizado por meio de análise de regressão linear multivariada. Para a elaboração do modelo foram consideradas como variáveis preditoras: o ruído dB(A); a temperatura do ar (T_{bs} , °C); a temperatura de globo negro (T_{gn} , °C); a temperatura de bulbo úmido (T_{bu} , °C); a umidade relativa do ar (UR, %); a temperatura da pele da cabeça do operador ($T_{cabeça}$, °C) do operador, a temperatura da pele do braço do operador ($T_{braço}$, °C) e a velocidade do ar (Vel. ar, $m\ s^{-1}$), tendo com variável resposta a frequência cardíaca (F.C, bpm). Os indicadores termoacústicos, ruído, umidade relativa do ar e temperatura da superfície da pele da cabeça do operador, permitiram a elaboração de modelo matemático multivariado, representativo do ICO. A validação do ICO alcançou ótimo desempenho, com base nos altos valores de concordância e confiança, o que permite sua utilização para caracterizar a carga física de trabalho e a insalubridade operacional de operadores de tratores agrícolas, no preparo periódico do solo para o cultivo de cana-de-açúcar.

Palavras-chave: análise exploratória, conforto termoacústico, mecanização agrícola, modelagem matemática

Chapter 2 – PREDICTION OF THE OCCUPATIONAL COMFORT INDEX FOR THE OPERATION OF AGRICULTURAL TRACTORS

ABSTRACT

The present study was developed with the objective of formulating a multivariate mathematical model representative of the operational comfort index in the agricultural tractor operation, based on the thermoacoustic indicators and the physical workload, in the periodic preparation of the soil for the cultivation of sugarcane. The research was conducted in growing areas of Petribu Plant, located in Carpina, PE. The study was conducted in an area of 4.3 ha, by means of a mechanized assembly without ergonomic cabin, coupled to the respective implements, for the plowing, harrowing and furrowing operations, for a daily working day of eight hours (8:00 a.m. to 5:00 p.m.), one hour of meal break, executed by the same operator. Data logging on the operator's work platform were air temperature (T_{bs} , °C), black globe temperature (T_{gn} , °C), relative air humidity (RH, %), operator heart rate (FC, bpm), the operator's skin surface temperature (T_{head} , surface temperature of head °C), (T_{arm} , surface temperature of arm), noise, dB (A) and air velocity (Air velocity, $m\ s^{-1}$) recorded by instrumentation with automatic data logging. The data were submitted to the exploratory analysis using the main components technique. The elaboration of the operational comfort Index (ICO) prediction model was performed through multivariate linear regression analysis. For the elaboration of the model were considered as predictive variables noise, dB (A), air temperature (T_{bs} , °C), black globe temperature (T_{gn} , °C), relative air humidity (RH, %), T_{head} , surface temperature of head °C. (T_{head}), T_{arm} , surface temperature of arm (T_{arm}) and air velocity (Air velocity, $m\ s^{-1}$), with variable response operator heart rate the F.C (bpm). The thermoacoustic indicators, noise, relative air humidity and skin surface temperature of the operator's head allowed the elaboration of a multivariate mathematical model, representative of ICO. The validation of the ICO achieved an excellent performance, based on the high values of agreement and confidence, which allows its use to characterize the physical work load and occupational insalubrity of agricultural tractor operators, in the periodic preparation of the soil for sugarcane cultivation.

Keywords: agricultural mechanization, exploratory analysis, mathematical modeling thermoacoustic comfort

1. INTRODUÇÃO

A ergonomia pode ser definida como a ciência das interações das pessoas com a tecnologia, a organização e o ambiente, objetivando melhorar processos e projetos de forma não dissociada, integrada à segurança nas atividades de trabalho humano. Portanto, trata-se de uma área multidisciplinar, que envolve noções de psicologia, fisiologia e biomecânica, pelo qual se estuda as características do homem com ênfase na eficácia do processo, que abrange tanto os executados com máquinas, quanto às situações que relacionam o trabalhador com sua atividade, com foco na produtividade, no conforto e no bem-estar, para execução de tarefas realizadas pelos trabalhadores (SHERIQUE, 2004).

O projeto dos tratores agrícolas, até pouco tempo, era focado na sua maximização e eficiência, em detrimento do fator humano. No entanto, segundo Alves (2006), devido ao aumento no rigor das normas de segurança no trabalho, atualmente existem demandas para o aprimoramento de condições de ergonomia e segurança para o operador, visando melhorar as condições de trabalho, diminuir o nível de fadiga e desconforto, reduzir o risco de acidente, aumentar a produtividade e a qualidade do trabalho.

A mecanização agrícola é essencial à agricultura, no entanto, durante sua prática os operadores de tratores ainda se expõem a prováveis agentes de estresse, que deprimem sua eficiência de trabalho. O operador fica exposto a diversos fatores insalubres tais como: vibrações; poeira; calor e/ou frio; insetos; gases de exaustão do motor; insolação; ruído e defensivos agrícolas, colocando em risco a sua saúde física e mental.

Nesse contexto, observa-se vasta quantidade de dados que cobrem vários aspectos da operação de tratores agrícolas. A complexidade de vários fenômenos requer análise de muitas variáveis diferentes. Além disso, o avanço da tecnologia computacional tem proporcionado avanços e facilidades no que diz respeito à análise destes dados em diversas áreas. Dessa forma, percebe-se uma necessidade de procedimentos de análises e interpretação adequados para a extração das informações, principalmente para tomada correta de decisões de forma a possibilitar um gerenciamento mais eficiente e crescimento na produtividade laboral (LYRA, 2010).

O presente estudo foi desenvolvido com o objetivo de formular modelo matemático multivariado, representativo do índice de conforto operacional em trabalho com agrícola sem cabine, de pneu, com base nos indicadores termoacústicos e da carga física de trabalho no preparo periódico do solo, para o cultivo da cana-de-açúcar.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em áreas de cultivo da Usina Petribu, localizadas no município Carpina - PE, a 50 km da cidade de Recife – PE (latitude 7°51'S, longitude 35°14'W e altitude de 180 m).

O clima da região é caracterizado como megatérmico (As') com precipitação de inverno e estação seca do verão até outono, segundo classificação de Köppen (PEREIRA et al., 2002). A temperatura média anual é de 24,3 °C, sendo os meses de julho e agosto mais frio, enquanto janeiro e fevereiro, os meses mais quentes. A precipitação média anual é de 1260 mm com período seco de 6 (seis) meses.

O estudo foi conduzido em uma área de 4,3 ha, na qual o preparo periódico do solo, para plantio de cana-de-açúcar, foi executado por meio de um conjunto mecanizado composto por trator New Holland, modelo TM 150, sem cabine, motor turbinado, com potência de 150 cv (110,25 kW), na rotação nominal de 2.200 RPM, torque máximo de 620 Nm (63,2 kgf.m) a 1400 RPM; número de cilindros 6, cilindrada 7.500 cm³ (7,5 L), tração 4x2 com TDA (tração dianteira auxiliar), classificado como de porte pesado, utilizando os implementos (grade aradora pesada, grade destorroadora/niveladora e sulcador para a abertura de dois sulcos por ciclo).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo distrófico amarelo, textura franco argilo arenosa, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Embrapa, 2006), com relevo topo plano de tabuleiro (SOBRINHO, 1992) e declividade variando de 4 a 5%, o que não ofereceu riscos significativos para operação, quando se trabalha com tratores de pneus.

Os trabalhos de campo, com as respectivas coletas de dados, foram realizados no mês de outubro de 2017. As operações de revolvimento do solo, gradagem e sulcagem ocorreram nos dias 19, 20 e 21, respectivamente. As jornadas de trabalho foram de 8 horas diárias, iniciando às 08:00 h e finalizando às 17:00 h, com uma hora de descanso entre os turnos de trabalho (manhã e tarde). Os dados foram registrados durante cada jornada efetiva de trabalho do operador, em intervalo de 10 s.

O registro de dados na plataforma de trabalho do operador (temperatura do ar, °C; temperatura de globo negro, °C; umidade relativa do ar, %; frequência cardíaca do operador, bpm; temperatura de superfície da pele, °C; ruído, dB(A) e a velocidade do ar, m s⁻¹, foram registrados durante as operações de preparo periódico do solo para o cultivo de cana-de-

açúcar, com o trator acoplado ao respectivo implemento para as três operações: aração, gradagem (destorroamento/nivelamento) e sulcagem (abertura de sulcos).

As variáveis meteorológicas foram registradas na área de trabalho do operador e no trator, por meio de “*dataloggers*”, modelo HOBO U12-12 (Onset Computer Corporation Bourne, MA, USA), para o registro da temperatura do ar (T_{bs} , °C), da umidade relativa do ar (UR, %) e da temperatura de globo negro (T_{gn} , °C), o que permitiu a caracterização da temperatura de bulbo úmido (T_{bu} , °C) pela equação de Stull (2011).

Em todas as operações de preparo periódico do solo (aração, gradagem e sulcagem) foi utilizada uma câmera termográfica, FLIR®, modelo i60 (Figura 25), para obtenção das imagens termográfica de pontos do corpo do operador (cabeça e braços), durante a execução dos trabalhos. Os parâmetros de ajuste prévio da câmera foram a emissividade da superfície corporal (0,98), condição termo-higrométrica no instante do registro da imagem e a distância focal entre a câmera termográfica e a superfície alvo (BRIOSCHI, 2003). A distância neste estudo foi de 3,0 m, em função das condições operacionais. O registro da velocidade instantânea do vento ($m s^{-1}$) foi realizada no decorrer da pesquisa, nos instantes coincidentes com o registro das imagens termográficas, por meio de um termo-anemômetro, AZ Instrumentos, modelo 8908.



Figura 25 – Detalhes da câmera termográfica utilizada para registrar as imagens térmicas do operador durante as operações de campo

As imagens térmicas foram medidas discretas dentro do período de análise, em diferentes níveis de conforto e estresse térmico, para determinação da temperatura da superfície da pele (°C). As imagens foram convertidas em matrizes numéricas pelo “*software*” da câmera termográfica, sendo possível, assim, uma análise posterior dos dados. As correções

de valores de temperatura das imagens termográficas foram realizadas para minimizar possíveis problemas gerados por radiações difusas (Datcu et al., 2005).

As imagens foram processadas e armazenadas em ambiente computacional, com a utilização do programa “*Flir Quick Report*”. Na Figura 26, observa-se a imagem térmica do operador na plataforma de trabalho. Nota-se, ainda, as áreas da cabeça e do braço selecionadas para tratamento das imagens e obtenção das temperaturas da pele (cabeça e braço).



Figura 26 – Imagem termográfica do operador na plataforma de trabalho e identificação da temperatura média de braço (32,3°C) e da cabeça (34,4°C).

O nível do ruído no posto de trabalho foi registrado por meio de um decibelímetro digital, modelo DL- 4200 marca ICEL, com certificado de calibração nº 20170302002, emitido em março de 2017, com memória para armazenamento de dados e acionamento do circuito de ponderação “A”, para leituras realizadas em modo “Slow”, escala de 30 a 130 dB, com precisão de $\pm 1,5$ dB e resolução de \pm de 0,1 dB. O equipamento foi colocado próximo ao ouvido do operador, onde o ruído foi detectado com maior intensidade (após testes preliminares) (FUNDACENTRO - NHO - 1, 2001). Os limites de tolerância serviram como guia, não sendo interpretados como faixas de “perigo” e/ou “seguro”.

O operador, funcionário da Usina Petribu há mais de 10 anos, apresentava estatura de 1,68 m, massa corporal de 80 kg, pele negra, 39 anos de idade, não fumante, consumo

moderado de álcool, frequência cardíaca em repouso de 62 bpm e, segundo o mesmo, em gozo de plena saúde.

O operador utilizou vestimenta tipo calça comprida e camisa de manga curta, com índices de resistência térmica (clo) de 0,25 e 0,15, respectivamente, confeccionados de acordo com a ISO 7730 (1994), tecido em algodão, na cor clara, e sapatos de couro sintético tipo industrial com clo de 0,04.

O registro da frequência cardíaca (bpm) do operador, na execução das diversas fases do ciclo de trabalho, foi realizada por meio de um monitor de frequência cardíaca Timex, modelo T5K630Ra, composto por um receptor digital de pulso e um transmissor acoplado a uma correia elástica (cinta). O equipamento foi instalado no tórax do operador, abaixo da linha peitoral, antes do início de cada jornada de trabalho e retirado ao final, sendo os valores de frequência cardíaca registrada e armazenados em intervalos de 10 s. Ao final da jornada de trabalho, os dados foram descarregados em um computador por meio de uma interface e analisados utilizando o “*software Timex Device Agent*”.

Os dados foram submetidos à análise de componentes principais (ACP), por se tratar de uma técnica estatística multivariada, que transforma linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto substancialmente menor de variáveis não correlacionadas, que contém a maior parte da informação do conjunto original (HONGYU et al., 2016).

Para determinar o grau de correlação entre as variáveis estudadas utilizou-se os testes de Kaiser-Meyer-Olkin (Tabela 11) e de esfericidade de Bartlett. Esses testes verificam o grau de correlação entre os dados estudados.

Tabela 11 – Adequação amostral de acordo com Kaiser-Meyer-Olkin

| KMO | Adequação |
|---------|---------------|
| > 0,9 | Excelente |
| 0,8-0,9 | Meritória |
| 0,7-0,8 | Intermediária |
| 0,6-0,7 | Medíocre |
| 0,5-0,6 | fraca |
| < 0,5 | Inaceitável |

O teste de esfericidade de Bartlett permitiu avaliar se a matriz de correlação é uma matriz identidade, o que indicaria que não há correlação entre os dados. Dessa forma, para um nível de significância de 5%, rejeita-se a hipótese nula da matriz de correlação identidade.

A elaboração do modelo de predição do índice e conforto operacional (ICO) foi realizado por meio de análise de regressão linear multivariada, com ênfase no estabelecimento da relação funcional entre as variáveis preditoras (independentes) e resposta (dependente), aplicando-se os métodos dos mínimos quadrados para formulação do modelo matemático multivariado proposto.

Para o desenvolvimento do modelo foram consideradas como variáveis preditoras as variáveis obtidas na plataforma de trabalho do operador (trator sem cabine), no decorrer das operações de preparo periódico do solo (aração, gradagem e sulcagem), como a temperatura do ar ($^{\circ}\text{C}$), temperatura de bulbo úmido ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa do ar (%), velocidade do ar (m s^{-1}), temperatura de superfície do corpo, $T_{\text{cabeça}}$ ($^{\circ}\text{C}$) e $T_{\text{braço}}$, ($^{\circ}\text{C}$), temperatura na cabine do trator ($^{\circ}\text{C}$) e ruído dB(A). A variável resposta foi caracterizada pela frequência cardíaca (bpm), representativa da resposta fisiológica do operador durante a jornada de trabalho, o que permitiu a elaboração do índice de conforto operacional (ICO).

A análise exploratória dos dados, por meio da técnica de componentes principais, permitiu a identificação das variáveis mais representativas para composição do modelo e sua simplificação, a partir do modelo matemático hipotético de regressão linear múltipla Eq. (1).

$$y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k + E \quad (1)$$

em que:

y - variável resposta;

a - coeficiente técnico fixo;

b_k - coeficientes técnicos atrelados às variáveis preditoras;

X_k - variáveis preditoras;

E - variável aleatória residual.

A carga física de trabalho determinada pela frequência cardíaca do operador (bpm) associada ao índice de conforto operacional foi classificado de acordo com a Tabela 12 (Apud, 1997).

Tabela 12 – Classificação do índice de conforto operacional (ICO)

| Frequência cardíaca em (bpm) | ICO |
|------------------------------|------------|
| < 75 | Muito bom |
| 75 a 100 | Bom |
| 100 a 125 | Moderado |
| 125 a 150 | Ruim |
| 150 a 175 | Muito ruim |
| > 175 | Péssimo |

A verificação do desempenho do modelo foi realizada pelo coeficiente de correlação linear (r), índice de concordância (d), índice de confiança (c) (DUARTE et al., 2009) e raiz do erro quadrado médio - RMSE.

O modelo pode não apresentar confiabilidade mesmo com correlação perfeita com os dados observados, pois, os erros na estimativa poderão ser de natureza sistemática. Esses erros poderão ser mensurados pelo índice de concordância, proposto por WILLMOTT (1982) Eq. (2).

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - E_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|E_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (2)$$

em que:

d – índice de concordância;

O - médias dos valores de frequência cardíaca obtida pelo método.

E – raiz do erro quadrado médio

O índice de confiança (c) (CAMARGO & SENTELHAS, 1997) pode ser entendido como a quantificação total do erro do modelo, reunindo em si o erro aleatório e o sistemático para os quais atribui peso igual.

O teste “t” foi utilizado para verificar se os valores estimados diferem dos observados. Quanto menor o módulo do valor t, melhor o desempenho do modelo, uma vez que o módulo do valor t é proporcional ao módulo do erro médio (TOGRUL e TOGRUL, 2002).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O conjunto de dados obtidos a partir do registro das variáveis resposta e preditoras foram compostas por 20 observações por operação no preparo periódico do solo (aração, gradagem e sulcagem), para o cultivo de cana-de-açúcar, totalizando 60 observações de 9 variáveis: frequência cardíaca (FC, bpm); ruído dB(A); temperatura de bulbo úmido (Tbu, °C); temperatura de bulbo seco (Tbs, °C); temperatura de globo negro (Tgn, °C); temperatura da cabeça do operador (Tcabeça, °C); temperatura do braço do operador (Tbraço, °C); umidade relativa do ar (UR, %); e velocidade do ar ($m s^{-1}$). Os dados foram submetidos aos testes Kaiser-Meyer-Olkin e Bartlett, como pode ser observado, na Tabela 13.

Tabela 13 – Testes de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) e de esfericidade de Bartlett

| | | Adequação de amostragem |
|----------|---------------|-------------------------|
| KMO | | 0,7 |
| Bartlett | Qui-quadrado | 1039,38 |
| | gl | 28 |
| | significância | 0,00001 |

gl – Grau de liberdade

O teste KMO indicou a existência de correlação intermediária (Tabela 13) entre as variáveis e o teste de esfericidade de Bartlett apresentou valor de $P < 0,00001$, o que leva à rejeição da matriz das correlações ser a identidade, para um nível de significância superior a 0,00001, o que reforça a existência de correlação entre as variáveis estudadas (Tabela 13). Deste modo, admite-se o emprego da análise exploratória dos dados, por meio da técnica de componentes principais, como análise apropriada ao conjunto de dados.

A Figura 27 mostra o dendrograma formado pela análise de agrupamento, por meio do teste das médias multivariadas. As médias foram divididas em três grupos principais (1, 2 e 3). O grupo 1 foi constituído pelo Ruído dB(A) e pela frequência cardíaca (F. C., bpm); o grupo 2 foi composto pela temperatura de bulbo úmido (Tbu, °C), temperatura de bulbo seco (Tbs, °C), temperatura de globo negro (Tgn, °C), temperatura da cabeça do operador (Tcabeça, °C) e temperatura do braço do operador (Tbraço, °C); e o grupo 3, que contou com a umidade relativa do ar (UR, %) e a velocidade do ar (Vel. ar, $m s^{-1}$).

Nota-se que os grupos 1 e 2 apresentaram similaridade entre si, tendo influência um sobre o outro. No entanto, o grupo 3 apresentou baixa similaridade com os demais (1 e 2), em

torno de 35% (Figura 27). A não similaridade da UR e da Velocidade do ar pode ser explicada pela baixa correlação apresentada pelas variáveis (Tabela 15).

A variação da intensidade do ruído é sentida pelo operador a partir da audição, provocando agravos a sua saúde, diante do efeito da intensidade e duração (Silveira et al., 2007), condições típicas de estresse pode influenciar a temperatura corporal, principalmente quando associada a transferência de calor residual do motor, que se propaga na plataforma de operação e influencia o aumento da frequência cardíaca do operador.

Nesse contexto, verifica-se na Figura 27 que o efeito da frequência cardíaca no grupo 3 é difusa, tendo em vista que o mesmo se correlaciona com os grupos 1 e 2, se dissipando entre o ruído e as temperaturas (Tbu, °C; Tbs, °C; Tgn, °C; Tcabeça, °C e Tbraço, °C).

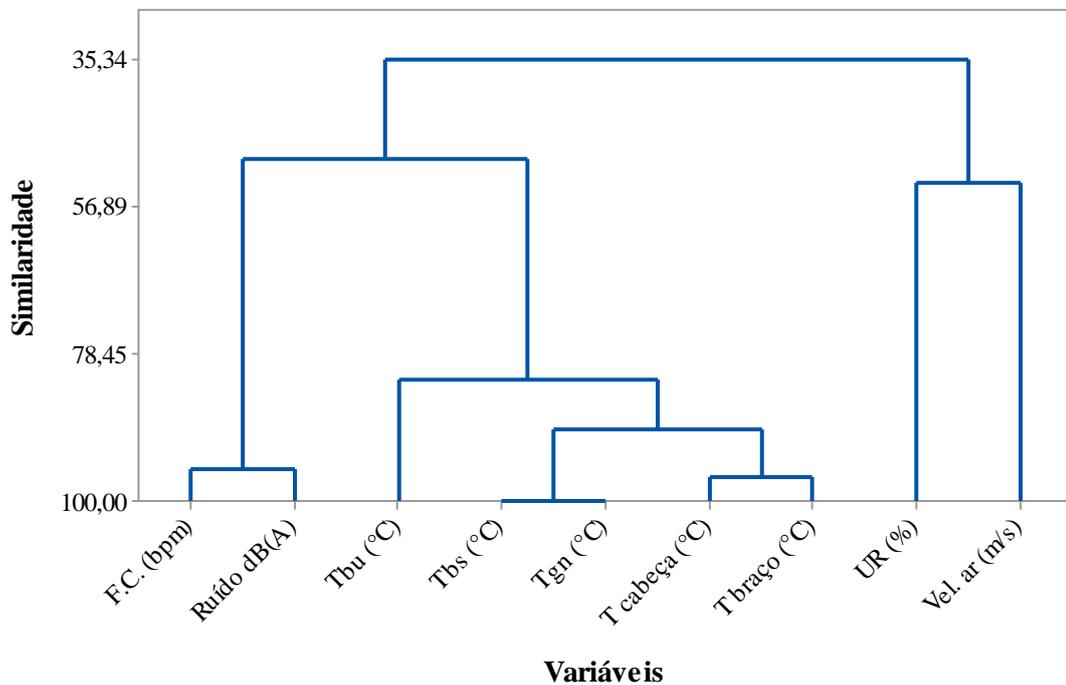


Figura 27 – Análise de agrupamento da frequência cardíaca (F.C, bpm); Ruído (dB(A)); temperatura de bulbo úmido (Tbu, °C); temperatura de bulbo seco (Tbs, °C); temperatura de globo negro (Tgn, °C); temperatura da cabeça (Tcabeça, °C); temperatura do braço (Tbraço, °C); umidade relativa do ar (UR, %) e velocidade do ar (Vel. m s⁻¹).

Na Tabela 14 observa-se que foram geradas 9 componentes principais, cada uma com seu peso expresso pelos respectivos autovalores que representam a variação total explicada.

Tabela 14 – Percentual da variação total explicada pelas componentes principais - (CP)

| CPs | Autovalores | Proporção (%) | Proporção Acumulada (%) |
|-----|-------------|---------------|-------------------------|
| CP1 | 4,581 | 50,902 | 50,902 |
| CP2 | 1,999 | 22,208 | 73,110 |
| CP3 | 0,984 | 12,568 | 85,678 |
| CP4 | 0,823 | 9,144 | 94,822 |
| CP5 | 0,332 | 3,691 | 98,514 |
| CP6 | 0,070 | 0,774 | 99,288 |
| CP7 | 0,060 | 0,670 | 99,958 |
| CP8 | 0,004 | 0,042 | 100,000 |
| CP9 | 2,111E-05 | 0,000 | 100,000 |

Pelo critério de Kaiser, escolhe-se o número de fatores com base nos autovalores acima de 1 (Favero et al., 2009). Neste caso, escolheu-se os componentes principais CP1 e CP2, em dois eixos ortogonais não correlacionados, pois, apresentam a quantidade total de informações das variáveis originais, retidas por ambos os componentes principais de 73,11% (50,9% CP1 e 22,20% CP2) (Tabela 14 e Figura 28).

A técnica de componentes principais transformou as variáveis originais em variáveis não correlacionadas de número menor, que explica uma parcela significativa das informações do conjunto das variáveis originais.

Após a escolha das componentes principais em duas dimensões (eixos x e y), verifica-se na Tabela 15 que a variável velocidade do ar, pode ser descartada das próximas observações, tendo em vista a fraca correlação, tanto para a CP1 como na CP2. Todas as temperaturas (T_{bu}, °C; T_{bs}, °C; T_{gn}, °C; T_{cabeça}, °C e T_{braço}, °C) apresentaram altas correlações na CP1, inclusive a variável umidade relativa do ar.

Tabela 15 – Correlação entre cada componente principal e as variáveis aferidas durante o preparo periódico do solo para o cultivo da cana-de-açúcar

| Variáveis | Componentes | |
|-----------|-------------|--------|
| | CP1 | CP2 |
| F. C. | 0,008 | 0,937 |
| Ruído | 0,078 | 0,973 |
| Tbu | 0,692 | -0,187 |
| Tbs | 0,969 | 0,082 |
| Tgn | 0,966 | 0,086 |
| UR | -0,719 | -0,242 |
| Tcabeça | 0,919 | -0,135 |
| Tbraço | 0,893 | -0,205 |
| Vel. ar | -0,254 | -0,065 |

A análise dos componentes principais permitiu a utilização das componentes CP1 e CP2. As duas principais componentes permitiram uma ordenação bidimensional das variáveis, divididas em três grupos (Figura 28A). Observou-se que a frequência cardíaca (F. C.) e o ruído foram fortemente influenciados pela operação de revolvimento do solo, quando se considera a CP2. Desta forma, quanto maior o tempo dessa operação, mais desconfortável será a condição para o operador, ou seja, a CP2 apresenta maior associação com o grupo 2.

Na Figura 28B, notam-se as operações do preparo periódico do solo, aração, gradagem e sulcagem. Na operação de revolvimento do solo, provavelmente houve maior efeito da irradiação proveniente do motor, que influenciou a temperatura na plataforma de trabalho do operador e, conseqüentemente, promoveu a ampliação de sua frequência cardíaca. Esse efeito pode ser atribuído ao maior esforço de tração, tendo em vista que a operação requer mais torque do motor, razão decorrente da maior correlação com as temperaturas (Tbu, °C; Tbs, °C; Tgn, °C; Tcabeça, °C e Tbraço, °C).

A contar o tempo despendido nas operações do preparo periódico do solo, houve aumento na frequência cardíaca em decorrência, principalmente, causada pela intensidade e duração do ruído. As operações de gradagem e sulcagem obtiveram maior relação com esses dados. A análise de componentes principais ainda destaca o efeito das temperaturas do ambiente e das superfícies da pele do operador com o ruído e a frequência cardíaca (Figura 28A e 28B).

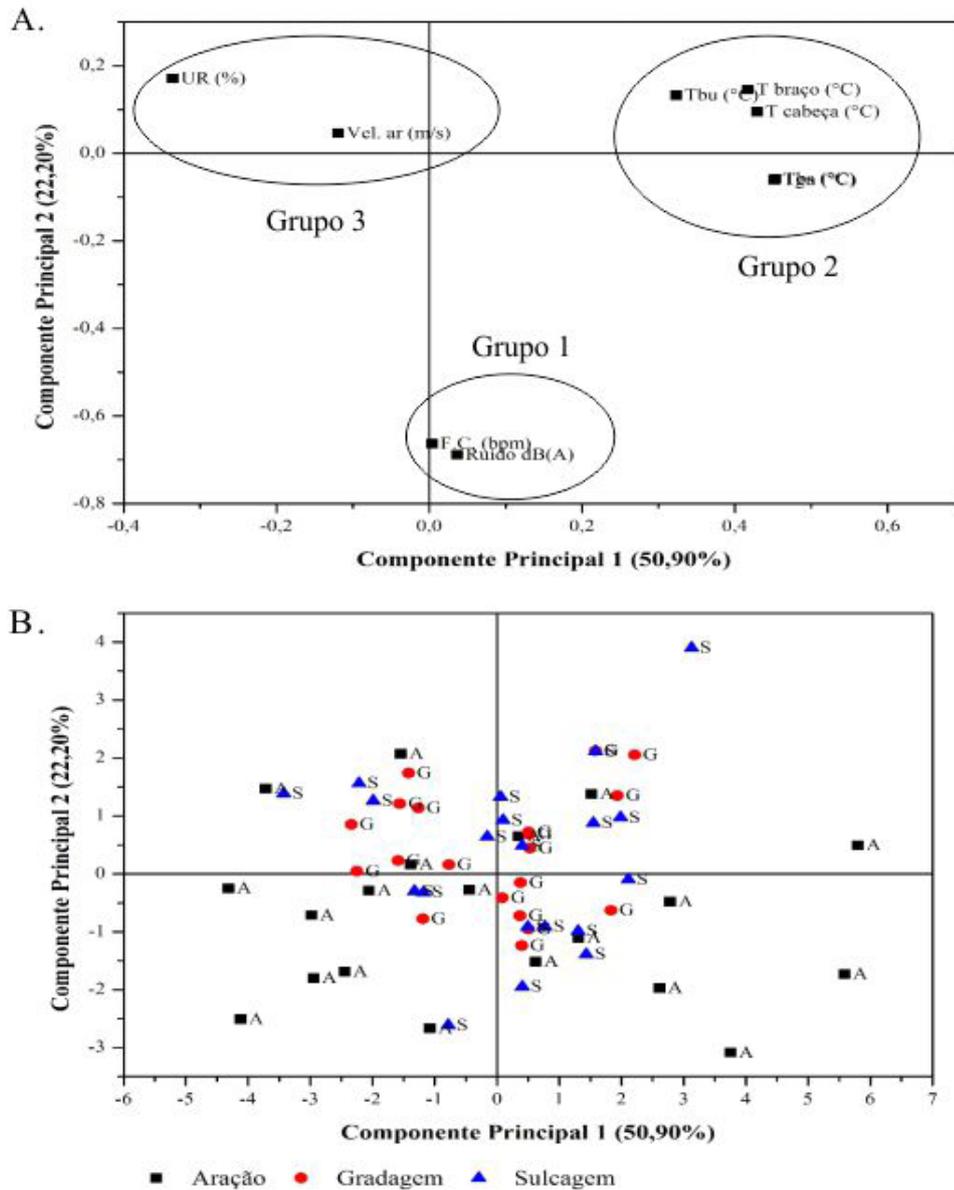


Figura 28 – Análise multivariada de componentes principais: variáveis estudadas, figura (A) e operações de preparo do solo figura (B)

Com base na análise de componentes principais foram propostas equações para predição do índice de conforto operacional (ICO) por meio de análise de regressão linear multivariada, com ênfase na obtenção do melhor modelo matemático multivariado que representasse a condição de trabalho do operador na operação de preparo período do solo, no cultivo da cana-de-açúcar.

Na Tabela 16, encontram-se os modelos representativos do preparo periódico do solo. Para todos os modelos foram aplicados o teste t de comparação das médias e, para validar a significância das variáveis foi calculado o índice de concordância (d) WILLMOTT (1982).

Tabela 16 – Modelos lineares múltiplos representativos das operações de aração, gradagem e sulcagem no cultivo da cana-de-açúcar (Usina Petribu, Carpina PE)

| Modelo de Regressão linear múltipla | | | | |
|---|-----------------|--------|----------------|--------|
| | valor p (<0,05) | F | R ² | d |
| 1. $y = -109,1345 + (2,1015 \cdot \text{Ruído}) + (-0,93208 \cdot \text{Tbu}) + (-1,3513 \cdot \text{Tbs}) + (1,08939 \cdot \text{Tgn}) + (0,2537 \cdot \text{UR}) + (0,17152 \cdot \text{Tcabeça}) + 0,1256 \cdot \text{Tbraço}) + (-0,2026 \cdot \text{Vel. ar})$ | 0,00 | 42,79 | 0,8703 | 0,9639 |
| 2. $y = -111,0385 + (2,0715 \cdot \text{Ruído}) + (0,06911 \cdot \text{UR}) + (0,0469 \cdot \text{Tcabeça}) + (0,1125 \cdot \text{Tbraço}) + (-0,17708 \cdot \text{Vel. ar})$ | 0,00 | 66,117 | 0,8595 | 0,9608 |
| 3. $y = -113,647 + (2,080 \cdot \text{Ruído}) + (0,17162 \cdot \text{UR}) + (0,1020 \cdot \text{Tcabeça}) + (0,0872 \cdot \text{Tbraço})$ | 0,00 | 79,71 | 0,8528 | 0,9586 |
| 4. $y = -113,173 + (2,075 \cdot \text{Ruído}) + (0,073 \cdot \text{UR}) + (0,182 \cdot \text{Tcabeça})$ | 0,00 | 107,77 | 0,852 | 0,958 |
| 5. $y = -90,436 + (1,9463 \cdot \text{Ruído}) + (-0,24647 \cdot \text{Tcabeça}) + (0,227076 \cdot \text{Tbraço})$ | 0,00 | 82,8 | 0,816 | 0,9438 |
| 6. $y = -88,2673 + (1,9271 \cdot \text{Ruído}) + (-0,04718 \cdot \text{Tcabeça})$ | 0,00 | 124,23 | 0,8133 | 0,9459 |
| 7. $y = -89,380 + (1,9279 \cdot \text{Ruído}) + (-0,015853 \cdot \text{Tbraço})$ | 0,00 | 123,53 | 0,8125 | 0,9456 |

Em que: y - frequência cardíaca (bpm), que determina o índice de conforto operacional (ICO); Ruído dB(A); Tbu - temperatura de bulbo úmido (°C); Tbs - temperatura de bulbo seco (°C); Tgn - temperatura de globo negro (°C); Tcabeça - temperatura da cabeça do operador (°C); Tbraço - temperatura do braço do operador (°C); UR - umidade relativa do ar (%); Vel. ar - velocidade do ar (m s⁻¹); d – índice de concordância.

Embora os modelos tenham sido todas significativas para o teste F, com coeficiente de determinação (R^2) maior que 80% e índice de concordância superior a 90%, o que indica o quanto os modelos foram capazes de representar a relação funcional entre a variável resposta e as variáveis preditoras na determinação do índice de conforto operacional (ICO), o modelo que apresentou significância para o teste t (Tabela 17) foi o quatro (4), (Tabela 16).

Tabela 17 – Teste t para as variáveis que contemplam o modelo selecionado

| Modelo | Coeficientes ^a | | | | |
|-------------|-------------------------------|--------|---------------------------|--------|-----------|
| | Coeficientes não padronizados | | Coeficientes padronizados | | P (Valor) |
| | B | Erro | Beta | t | |
| (Constante) | -113,173 | 12,182 | | -9,29 | 0,0001 |
| Ruído | 2,075 | 0,117 | 0,969 | 17,797 | 0,0001 |
| UR | 0,073 | 0,019 | 0,255 | 3,845 | 0,0001 |
| Tcabeça | 0,182 | 0,099 | 0,091 | 1,848 | 0,049 |

Sendo assim, o modelo que melhor representa o índice de conforto operacional a operadores de tratores agrícolas, no preparo periódico do solo para o cultivo de cana-de-açúcar, pode ser observado na Eq. (3).

$$ICO = -113,173 + 2,075 \cdot Ruído + 0,073 \cdot UR + 0,182 \cdot Tcabeça \quad (3)$$

em que:

ICO – índice de conforto operacional;

Ruído – ruído (dB(A));

UR – umidade relativa do ar (%); e

Tcabeça – temperatura da cabeça do operador ($^{\circ}$ C).

Para validação do modelo proposto, foi realizado o teste de correlação entre os valores medidos e estimados pela equação 3, de acordo com Duarte et al. (2009), por meio da determinação do coeficiente de correção de Pearson. O índice de concordância foi calculado segundo Willmott (1982) e o índice de confiança proposto por CAMARGO & SENTELHAS, 1997, como sendo o produto dos dois índices. Os valores obtidos podem ser observados na Tabela 18.

Tabela 18 – Raiz do erro quadrado médio (RMSE), índice de concordância (d), coeficiente de correlação (r) e índice de confiança (c)

| RMSE | d | r | c |
|------|-------|---------|------|
| 0,16 | 0,939 | 0,92306 | 0,86 |

A equação 3 apresentou alto valor de concordância (d) 0,939, o que demonstra menor amplitude de erro, reforçado pelo baixo valor da raiz do erro quadrado médio (RMSE). Pelo critério de interpretação do desempenho da equação 3, para estimativa do ICO (índice de conforto operacional), pelo índice de confiança (c) foi de 86%, portanto, classificada como equação de desempenho ótimo.

4. CONCLUSÕES

Os indicadores termoacústicos, ruído, umidade relativa do ar e temperatura da superfície da pele da cabeça do operador, permitiram a elaboração de modelo matemático multivariado, representativo do índice de conforto operacional no preparo periódico do solo para o cultivo de cana-de-açúcar.

A validação do índice de conforto operacional alcançou ótimo desempenho, com base nos altos valores de concordância e confiança, o que permite sua utilização para caracterizar a carga física de trabalho e a insalubridade ocupacional por ruído e calor, de operadores de tratores agrícolas.

5. REFERÊNCIAS

ALVES, Francisco. Por que morrem os cortadores de cana? **Saúde e Sociedade**, São Paulo, v. 15, n.3, p. 90 – 98, 2006.

APUD, E. Temas de ergonomia aplicados al aumento de la productividad de la mano de obra en cosecha forestal. In: Simpósio Brasileiro sobre Colheita e Transporte Florestal, 3, 1997, Vitória. **Anais...** Vitória: SIF/DEF, 1997. p.46-60.

BRIOSCHI, M. L.; MACEDO, J. F. ; MACEDO, R. A. C. Termometria cutânea: novos conceitos. **Jornal Vascular Brasileiro**, Curitiba, v. 2, n. 2, p.151- 60, 2003.

CAMARGO, Ângelo Paes de; SENTELHAS, Paulo Cesar. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89 - 97, 1997.

DATCU, S.; IBOS, L.; CANDAU, Y.; MATTEÏ, S. Contribution to Improvement of building wall surface temperature measurements by infrared thermography. **Infrared Physics Technology**, v.46, p. 451–467, 2005.

DUARTE, Daniel José; BIANCO, Silvano; LEONARDO, B. Carvalho; PANOSSO, Alan Rodrigo. Estimativa da área foliar de *Euphorbia heterophylla*. **Planta Daninha**, Viçosa, v. 27, n.3, p. 527 - 531, 2009.

EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2006. 412p

FÁVERO, Luiz Paulo Lopes; BELFIORE, Patricia Prado; SILVA, Fabiana Lopes da; CHAN, Betty Lilian. Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. **NHO 01: Avaliação da exposição ocupacional ao ruído**. São Paulo, 2001.

HONGYU, K; Sandanielo, V.M.; Oliveira Jr, G.J. Análise de Componentes Principais: Resumo Teórico, aplicação e interpretação. **Engineering and Science**, v. 1, n. 5, p. 83 - 90, 2016.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO. **ISO 7730 1994**: Ergonomics of the thermal environment—Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. Geneva, 2006.

LYRA, Wellington da Silva; SILVA, Edvan Cirino; ARAÚJO, Mario Cesar Ugulino de; FRAGOSO, Wallace Duarte; VERAS, G. Classificação periódica: um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. **Química Nova**, Campina Grande, v. 33, n. 7, p. 1594 – 1597, 2010.

PEREIRA, Antônio Roberto; ANGELOCCI, Luiz Roberto; SENTELHAS, Paulo César. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba, Ed. Agropecuária, 2002. 478p.

SHERIQUE, Jaques. **Aprenda como fazer Demonstrações Ambientais, Perfil Profissiográfico Previdenciário e Custeio da Aposentadoria Especial**. 4ª Ed., Editora LTr, 2004.

SOBRINHO, ANTONIO TRAVASSOS. **Ruído a que o tratorista está exposto durante o preparo do solo com trator de pneu**. 1992. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 1992.

STULL, Roland. Wet-Bulb Temperature from relative humidity and air temperature. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, Boston, v.50. n. 11, p. 2267 – 2269, 2011.

TOGRUL, Inci Turk; TOGRUL, Hasan. Global solar radiation over Turkey: comparison of predicted and measured data. **Renewable Energy**, v. 25, n. 1, p. 55 - 67, 2002.

WILLMOTT, Cort. J. Some comments on evaluation of model performance, **Bulletin of American Meteorological Society**, Boston, v.63, p.1309-1313, 1982.