

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO

**MÉTODO INTEGRADO PARA AVALIAÇÃO
ERGONÔMICA DE MÁQUINAS NA COLHEITA DE
MADEIRA**

TESE DE DOUTORADO

FELIPE MARTINS DE OLIVEIRA

IRATI, PR
2019

FELIPE MARTINS DE OLIVEIRA

MÉTODO INTEGRADO PARA AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE MÁQUINAS NA
COLHEITA DE MADEIRA

Tese apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável dos Recursos Florestais, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes - UNICENTRO
Orientador

Prof. Dr. Nilton César Fiedler - UFES
Coorientador

Prof. Dr. Henrique Soares Koehler - UFPR
Coorientador

IRATI, PR

2019

Catálogo na Fonte
Biblioteca da UNICENTRO

O48m OLIVEIRA, Felipe Martins de.
Método integrado para avaliação ergonômica de máquinas na colheita de madeira /
Felipe Martins de Oliveira. – Irati, PR : [s.n.], 2019.
178f.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes.
Coorientador: Prof. Dr. Nilton César Fiedler.
Coorientador: Prof. Dr. Henrique Soares Koehler.
Tese (doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais. Área de
concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais. Universidade Estadual do
Centro-Oeste, PR.

1. Engenharia Florestal - Postura. 2. Movimentos repetitivos. 3. Saúde – ergonomia.
I. Lopes, Eduardo da Silva. II. Fiedler, Nilton César. III. Koehler, Henrique Soares.
IV. UNICENTRO. V. Título.

CDD 620.82


TERMO DE APROVAÇÃO

Defesa de Tese Nº 15


Felipe Martins de Oliveira

“Método integrado para avaliação ergonômica de máquinas na colheita de madeira”


Tese aprovada em 15/03/2019, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor, no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Sustentável de Recursos Florestais, da Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela seguinte Banca Examinadora:



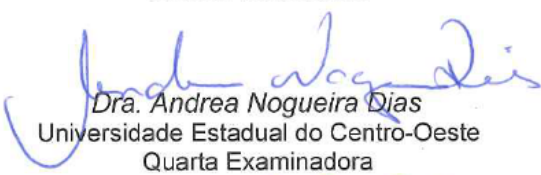
Dr. Renato Cesar Gonçalves Robert
Universidade Federal do Paraná
Primeiro Examinador




Dr. Alexandre Behling
Universidade Federal do Paraná
Segundo Examinador



Dr. Nilton Cesar Fiedler
Universidade Federal do Espírito Santo
Terceiro Examinador



Dra. Andrea Nogueira Dias
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Quarta Examinadora



Dr. Eduardo da Silva Lopes
Universidade Estadual do Centro-Oeste
Orientador e Presidente da Banca Examinadora

Irati - PR
2019

Home Page: <http://www.unicentro.br>

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES), à qual agradeço pela concessão de bolsa de estudo durante 36 (trinta e seis) meses contados do início do curso de doutorado. O apoio financeiro foi determinante para proporcionar melhores condições para a minha formação e para a produção e o aprofundamento de conhecimentos no Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGF) da Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro).

Este trabalho também teve aporte financeiro da Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná, a qual busca o desenvolvimento social, econômico e ambiental do Estado do Paraná por meio de investimentos em ciência, tecnologia e inovação. Por meio de projeto aprovado na Chamada Pública 09/2016 - Programa Institucional de Pesquisa Básica e Aplicada, foi possível realizar a compra de equipamentos para avaliação ergonômica, os quais foram utilizados nesta pesquisa, além de diárias para o período de coleta de dados.

Agradeço à empresa florestal pela aceitabilidade da proposta de pesquisa, pela transparência e seriedade em todas as etapas de planejamento e execução dos trabalhos. Foi nítida, desde os primeiros contatos via telefone, a preocupação da empresa com as condições de trabalho de seus colaboradores. Referência internacional em ações de saúde e segurança ocupacional, a empresa sempre demonstrou interesse em aprimorar seus processos produtivos, nos quais o foco central sempre foi o trabalhador. Ademais, agradeço também pelo suporte financeiro e logístico sempre que necessário, pelo transporte e pela alimentação em campo, principalmente no momento em que a coleta de dados se estendeu além do planejado.

Agradeço à Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), mais especificamente ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGF), por objetivar promover o aperfeiçoamento de pessoal de nível superior com aptidão ao exercício das atividades profissionais de ensino e pesquisa, bem como produzir e disseminar conhecimentos científico e tecnológico para o estado do Paraná e para o Brasil. É notória a qualidade do ensino e da pesquisa do PPGF, a dedicação e a

excelência que permeia as aulas dos professores do programa e o comprometimento que estes demonstram nas orientações de mestrado e doutorado.

Agradeço ao orientador desta tese, o Prof. Dr. Eduardo da Silva Lopes, por ter confiado em minha capacidade, aceitado a mim como orientado e dedicado sua sabedoria e seu tempo desde a concepção desta pesquisa, seu planejamento, sua execução e suas análises. Obrigado por ter sido meu espelho como pesquisador, como professor e como engenheiro.

Agradeço aos demais membros do comitê de orientação. Ao Prof. Dr. Nilton Cesar Fiedler, da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), por todo seu conhecimento aplicado na forma de sugestões e recomendações para as operações florestais avaliadas nesta pesquisa, tanto em termos operacionais como ergonômicos, e ao Prof. Dr. Henrique Soares Koehler, da Universidade Federal do Paraná (UFPR), por toda a orientação estatística desde as ideias iniciais baseadas no método russo até as sugestões de análises para o desenvolvimento do Indicador Ergonômico Integrado (IEI).

Agradeço a todos os colegas (doutorado, mestrado e iniciação científica) que passaram pelo Laboratório de Ergonomia, Colheita e Transporte Florestal da Unicentro. Obrigado pela troca de experiências e conhecimento, além das parcerias nas pesquisas desenvolvidas no período compreendido entre 2015 e 2019. Agradeço de forma especial ao Alysson Braun Martins pela disponibilidade e pelo auxílio em determinados períodos da coleta de dados para esta tese.

Agradeço a todos os colegas do PPGF pelas aulas assistidas em conjunto, pelos trabalhos em grupo, pela troca de conhecimentos e pelas conversas construtivas nos intervalos dos estudos. Ainda no PPGF, agradeço à secretária do programa, Adriane Mores da Luz, pelo excelente e incansável serviço prestado não só a mim, mas a todos os alunos da pós, sendo exemplo de seriedade, competência e profissionalismo.

Agradeço a todos os alunos da graduação para os quais eu lecionei e leciono, tanto na Faculdade Jaguariaíva (Faculdades FatiFajar) como na Unicentro. A capacitação e o desenvolvimento profissional dos alunos são um dos objetivos principais do contínuo aprimoramento dos seus professores, e tendo eles como incentivo, a dedicação e o afinho são sempre maiores.

Agradeço à minha esposa Jéssica Camila Betim de Oliveira, por todo o incentivo e apoio nestes quatro anos que duraram o curso de doutorado. Suas

palavras, gestos e ações sempre me mantiveram focado no objetivo da capacitação e obtenção do grau de Doutor, algo que eu já almejava há alguns anos. Ela sempre me incentivou a ter corrido atrás, me dedicado e produzido um trabalho de qualidade.

Por fim, agradeço a Deus por ter me dado as capacidades físicas e intelectuais necessárias para concluir este trabalho e, quando estas pudessem por algum motivo não ter sido suficientes, agradeço por Ele ter colocado em meu caminho pessoas que me ajudaram muito. Agradeço a Ele por tanto minha dissertação de mestrado como minha tese de doutorado terem sido realizadas na área da ergonomia, esta tão nobre ciência que, buscando a otimização do desempenho global do sistema produtivo, toma como baluarte o ser humano, com vistas ao seu bem estar para tornar o trabalho compatível com suas necessidades, habilidades e limitações.

Obrigado a todos!

*“Disse Gandalf:
— Tudo o que temos de decidir é o que fazer
com o tempo que nos é dado.”*

J. R. R. Tolkien

MÉTODO INTEGRADO PARA AVALIAÇÃO ERGONÔMICA DE MÁQUINAS NA COLHEITA DE MADEIRA

RESUMO: O avanço da mecanização das operações de colheita da madeira trouxe preocupações como o aumento nos níveis de vibração e ruído, posturas inadequadas, movimentos repetitivos, dificuldades de visibilidade, sendo necessária a busca por novos modelos de avaliação ergonômica integrada, contribuindo para a melhoria das condições laborais. Objetivou-se nesta pesquisa propor um novo método para a avaliação ergonômica em operações de colheita da madeira mecanizada, capaz de correlacionar as variáveis ergonômicas de forma integrada, buscando soluções para a melhoria do desempenho ergonômico e das condições de segurança e saúde dos trabalhadores. A pesquisa foi conduzida em áreas operacionais de uma empresa florestal no estado do Paraná, sendo avaliadas as máquinas: *feller buncher*, *skidder*, processador florestal, *harvester* e *forwarder*. Foi determinada a produtividade das máquinas por meio de um estudo de tempos e movimentos e avaliados os níveis de exposição dos operadores à vibração ocupacional de corpo inteiro, ao ruído, ao calor e à iluminância. Foram ainda avaliadas as posturas e a repetitividade dos movimentos dos operadores e os ângulos de visibilidade. Os instrumentos ergonômicos foram instalados no interior dos postos de trabalho das máquinas de forma simultânea para obtenção dos dados. A padronização dos resultados das avaliações ergonômicas foi realizada por meio da adaptação do método do Grau de Conformidade (V) das variáveis em relação às normas previstas na legislação e proposta uma classificação de urgência ergonômica em uma escala de cores. Os dados também foram submetidos a uma análise multivariada de agrupamentos para identificar grupos de máquinas semelhantes em relação às variáveis ergonômicas, bem como uma análise multivariada fatorial para determinação das variáveis de influência na composição do Indicador Ergonômico Integrado (IEI). Os resultados mostraram que nenhuma das máquinas estudadas apresentou 100% de conformidade em relação às variáveis ergonômicas estudadas. O *skidder* foi classificado como a máquina com os maiores problemas ergonômicos, necessitando da adoção de medidas corretivas emergenciais em relação às vibrações, ao ruído e à visibilidade no plano lateral. As máquinas com os melhores desempenhos ergonômicos foram o processador florestal e o *harvester* de pneus, ocasionado pelos baixos níveis de vibração e ruído, capacidade de proporcionar postura adequada e boa visibilidade. A classificação dos resultados de acordo com a necessidade de intervenção ergonômica por meio da escala de cores possibilitou melhor interpretação dos indicadores ergonômicos, facilitando a identificação das variáveis prioritárias para uma intervenção ergonômica corretiva. A análise multivariada permitiu agrupar três grupos de máquinas em relação às variáveis ergonômicas, sendo os grupos que possuíam *skidder* e *forwarder* aqueles que apresentaram os piores valores. A produtividade foi satisfatoriamente utilizada como auxílio à explicação dos dados na avaliação ergonômica e na determinação do IEI. O método proposto se mostrou eficaz na avaliação ergonômica integrada.

Palavras-chave: Colheita de madeira mecanizada, indicadores ergonômicos, produtividade, saúde, qualidade de vida.

INTEGRATED METHOD FOR ERGONOMIC EVALUATION IN TIMBER HARVESTING MACHINES

ABSTRACT: *The advancement of mechanization in wood harvesting operations has raised concerns such as the increase in vibration and noise levels, inadequate postures, repetitive movements, visibility difficulties, being necessary the search for new models of integrated ergonomic evaluation, contributing to the improvement of work conditions. The objective of this research was to propose a new method for the ergonomic evaluation of mechanized wood harvesting operations, capable of correlating the ergonomic variables in an integrated way, seeking solutions to improve the ergonomic performance and the safety and health conditions of the workers. The research was conducted in the operational areas of a forestry company in the state of Paraná, Brazil, evaluating the machines: feller buncher, skidder, forest processor, harvester and forwarder. The productivity of the machines was determined by a time and motion study and it was evaluated the levels of exposure of the operators to the occupational whole-body vibration, to the noise, the heat and the illuminance. The postures and the repeatability of the operator movements and the angles of visibility were also evaluated. The ergonomic instruments were installed inside the machines' workstations simultaneously to obtain the ergonomic data. The standardization of the results of the ergonomic evaluations was performed by adapting the Degree of Compliance (V) of the variables in relation to the norms in the legislation and it was proposed an ergonomic urgency classification in a color scale. The data were also submitted to a multivariate clusters analysis to identify groups of similar machines in relation to the ergonomic variables, as well as a multivariate factor analysis to determine the variables of influence in the composition of the Integrated Ergonomic Indicator (IEI). The results showed that none of the machines studied presented a 100% compliance in relation to the studied ergonomic variables. The skidder was classified as the machine with the greatest ergonomic problems, requiring the adoption of emergency corrective measures regarding vibrations, noise and visibility in the lateral plane. The machines with the best ergonomic performances were the forest processor and the wheeled harvester, caused by the low levels of vibration and noise, conditions to provide adequate posture and good visibility. The classification of the results according to the need for ergonomic intervention through the color scale allowed a better interpretation of the ergonomic indicators, helping the identification of the priority variables for a corrective ergonomic intervention. The multivariate analysis allowed to identify three groups of machines in relation to the ergonomic variables, being the groups that included skidder and forwarder, those that presented the worst values. The productivity was satisfactorily used as an aid to the explanation of the data in the ergonomic evaluation and in the determination of IEI. The proposed method proved to be effective in the integrated ergonomic evaluation.*

Keywords: *Mechanized wood harvesting, ergonomic indicators, productivity, health, quality of life.*

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	13
LISTA DE QUADROS	15
LISTA DE TABELAS	16
1 INTRODUÇÃO GERAL E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA.....	18
2 OBJETIVOS.....	20
2.1 Objetivo geral	20
2.2 Objetivos específicos.....	20
3 REVISÃO DE LITERATURA	21
3.1 Importância do setor de florestas plantadas	21
3.2 Modernização das operações florestais	22
3.3 Ergonomia	23
3.3.1 Ergonomia na área florestal.....	24
3.3.2 Ergonomia na colheita florestal mecanizada	25
3.3.3 Variáveis ergonômicas na colheita florestal mecanizada	28
3.3.4 Ergonomia participativa	40
3.3.5 Desafios na avaliação integrada em máquinas florestais	41
3.3.6 Desenvolvimento de indicadores ergonômicos na área florestal ..	44
3.3.7 Ergonomia e produtividade: um sistema sustentável.....	46
3.4 Análises de agrupamento e fatorial	47
3.4.1 Análise de agrupamento.....	47
3.4.2 Análise fatorial	49
4 MATERIAL E MÉTODOS	51
4.1.1 Área de estudo	51
4.1.2 Operações estudadas.....	52
4.1.3 Caracterização da amostra e da análise estatística	53
4.1.4 Coleta de dados.....	55
CAPÍTULO I: AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS ERGONÔMICAS EM MÁQUINAS DE COLHEITA DA MADEIRA	56
1 INTRODUÇÃO	59
2 MATERIAL E MÉTODOS	61
2.1 Vibração de corpo inteiro.....	61
2.2 Ruído	62
2.3 Exposição ao calor	64
2.4 Iluminância	65
2.5 Repetitividade.....	65

2.6	Posturas	67
2.7	Ângulos de visibilidade	69
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	71
3.1	Vibração de corpo inteiro.....	71
3.2	Ruído	76
3.3	Exposição ao calor	80
3.4	Iluminância	83
3.5	Repetitividade.....	86
3.6	Posturas	90
3.7	Ângulos de visibilidade	106
4	CONCLUSÕES	112
CAPÍTULO II: ANÁLISE DE CONFORMIDADE ERGONÔMICA EM MÁQUINAS DE COLHEITA DA MADEIRA		
115		
1	INTRODUÇÃO	118
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	120
2.1	Cálculo dos Graus de Conformidade.....	120
2.2	Classificação dos Graus de Conformidade pela urgência de intervenção ergonômica.....	121
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	123
3.1	Cálculo dos Graus de Conformidade.....	123
3.2	Classificação dos Graus de Conformidade pela urgência de intervenção ergonômica.....	125
4	CONCLUSÕES	130
CAPÍTULO III: DESENVOLVIMENTO DE INDICADOR ERGONÔMICO INTEGRADO (IEI) NA AVALIAÇÃO DE MÁQUINAS FLORESTAIS		
131		
1	INTRODUÇÃO	134
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	136
2.1	Análises de agrupamentos e fatorial.....	136
2.2	Cálculo do Indicador Ergonômico Integrado (IEI)	137
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	139
3.1	Análise de agrupamentos (<i>cluster analysis</i>)	139
3.2	Determinação do Indicador Ergonômico Integrado (IEI) para cada grupo de máquinas	141
3.3	Determinação do Indicador Ergonômico Integrado (IEI) para todas as máquinas.....	148
4	CONCLUSÕES	153
CONSIDERAÇÕES FINAIS		
155		
RECOMENDAÇÕES.....		
157		
REFERÊNCIAS.....		
160		
ANEXOS		
170		

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Principais sistemas de colheita mecanizados ao redor do mundo.....	22
Figura 2. Medidor de vibração de corpo inteiro com acelerômetro triaxial (X, Y e Z) instalado no assento da máquina	29
Figura 3. Ângulos ideais e máximos dos movimentos da cabeça e do pescoço durante a realização do trabalho	40
Figura 4. Comportamento da variável ergonômica relacionada com seu respectivo Grau de Conformidade (indicador ergonômico).....	43
Figura 5. Distância euclidiana em duas dimensões.....	48
Figura 6. Exemplificação de resultado de uma análise de agrupamentos aglomerativos	49
Figura 7. Localização geográfica da área de estudo.	51
Figura 8. Esquema da localização dos instrumentos para coleta das variáveis ergonômicas	Erro! Indicador não definido.
Figura 9. Localização do <i>seatpad</i> fixado no assento da máquina para a coleta da vibração de corpo inteiro.	61
Figura 10. Localização do dosímetro de ruído.....	63
Figura 11. Coleta de dados com o luxímetro no período noturno.....	65
Figura 12. Localização das duas câmeras instaladas no interior da cabine.....	66
Figura 13. Escores dos segmentos corpóreos do grupo A no método RULA.....	68
Figura 14. Escores dos segmentos corpóreos do grupo B no método RULA.....	68
Figura 15. Medição das angulações nos planos sagital e superior.....	70
Figura 16. Aceleração média na exposição ocupacional à VCI.....	75
Figura 17. Dose diária (8h) na exposição ocupacional à VCI.....	75
Figura 18. Valores médios da avaliação de exposição ocupacional ao ruído.....	78
Figura 19. Valores médios de IBUTG obtidos na avaliação de exposição ocupacional ao calor.....	81
Figura 20. Iluminância no entorno de implementos de máquinas de colheita para os turnos diurno e noturno	84
Figura 21. Arredores dos implementos das três piores máquinas no quesito iluminância	85
Figura 22. Valores médios de repetitividade obtidos na execução das atividades de colheita da madeira pelas máquinas avaliadas.	88

Figura 23. Posturas típicas adotadas pelos operadores no corte com <i>feller buncher</i> nos períodos de trabalho diurno e noturno.....	90
Figura 24. Posturas típicas adotadas pelos operadores na extração com <i>skidder</i> nos períodos de trabalho diurno e noturno.....	92
Figura 25. Posturas típicas adotadas pelos operadores no processamento com processador florestal nos períodos de trabalho diurno e noturno.....	93
Figura 26. Posturas típicas adotadas pelos operadores no corte com <i>harvester A</i> nos períodos de trabalho diurno e noturno.....	94
Figura 27. Posturas típicas adotadas pelos operadores no corte com <i>harvester B</i> nos períodos de trabalho diurno e noturno.....	96
Figura 28. Posturas típicas adotadas pelos operadores na extração com <i>forwarder</i> nos períodos de trabalho diurno e noturno.....	98
Figura 29. Postura inadequada do operador do <i>forwarder</i>	105
Figura 30. Valores médios de angulação no plano sagital obtidos na avaliação dos ângulos de visibilidade.	110
Figura 31. Valores médios de angulação no plano transversal obtidos na avaliação dos ângulos de visibilidade.....	110
Figura 32. Grupos formados na análise de agrupamentos para as máquinas de colheita da madeira	140

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Sistema de triagem de Manchester	44
Quadro 2. Características das máquinas de colheita da madeira.....	52
Quadro 3. Limites de exposição à vibração de corpo inteiro de acordo com a NHO09	62
Quadro 4. Diagnósticos do método RULA de acordo com o nível de ação	69
Quadro 5. Padrão típico de vibração observado em todas as máquinas durante um determinado período de tempo.....	73
Quadro 6. Limites utilizados no cálculo do Indicador Ergonômico.....	120
Quadro 7. Urgência de necessidade de intervenção de acordo com o Grau de Conformidade (V)	121
Quadro 8. Classificação de necessidade de intervenção ergonômica por cores...	121

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites utilizados na avaliação da exposição ocupacional ao ruído.....	31
Tabela 2. Diretrizes para estudo iluminação em máquinas florestais.	34
Tabela 3. Determinação da intensidade do esforço realizado para obtenção do <i>Strain Index</i>	35
Tabela 4. Determinação da duração do esforço realizado para obtenção do <i>Strain Index</i>	36
Tabela 5. Determinação da frequência de esforços para obtenção do <i>Strain Index</i> .	36
Tabela 6. Determinação da postura de mãos e punhos para obtenção do <i>Strain Index</i>	37
Tabela 7. Determinação do ritmo de trabalho para obtenção do <i>Strain Index</i>	37
Tabela 8. Determinação da duração do trabalho para obtenção do <i>Strain Index</i>	38
Tabela 9. Matriz de distâncias utilizadas em análises de agrupamento de dados. ...	48
Tabela 10. Características médias dos trabalhadores das máquinas de colheita. ...	53
Tabela 11. Tratamentos resultantes dos períodos de trabalho nas operações de colheita da madeira	54
Tabela 12. Limites máximos para angulação de cabeça e pescoço para avaliação dos ângulos de visibilidade.....	70
Tabela 13. Vibração em relação à aceleração média e dose diária (8h) obtida nas máquinas dos sistemas.	71
Tabela 14. Ruído médio calculado para as máquinas dos sistemas <i>Full tree</i> e <i>Cut to length</i>	77
Tabela 15. IBUTG médio calculado para as máquinas dos sistemas <i>Full tree</i> e <i>Cut to length</i>	80
Tabela 16. Iluminância média calculada para as máquinas dos sistemas <i>Full tree</i> e <i>Cut to length</i>	83
Tabela 17. Repetitividade média calculada para as máquinas dos sistemas <i>Full tree</i> e <i>Cut to length</i>	87
Tabela 18. Avaliação postural dos operadores nas máquinas de colheita.....	100
Tabela 19. Ângulos médios de visibilidade observados nas máquinas dos sistemas <i>Full tree</i> e <i>Cut to length</i>	106
Tabela 20. Conformidade com normas e diretrizes.....	121

Tabela 21. Graus de Conformidade (V) calculados para as máquinas de colheita da madeira	123
Tabela 22. Necessidade de intervenção ergonômica nas máquinas de colheita de madeira	126
Tabela 23. Médias das variáveis utilizadas na análise de agrupamentos.	139
Tabela 24. Fatores obtidos e suas variáveis correlacionadas para as máquinas de corte florestal no turno diurno.	141
Tabela 25. Indicador Ergonômico Integrado (IEI) para as máquinas de corte florestal no turno diurno	142
Tabela 26. Fatores obtidos e suas variáveis correlacionadas para as máquinas de colheita da madeira no turno noturno.	144
Tabela 27. Indicador Ergonômico Integrado (IEI) para as máquinas de colheita de madeira período noturno.	145
Tabela 28. Fatores obtidos e suas variáveis correlacionadas para as máquinas de extração florestal no turno diurno.	146
Tabela 29. Indicador Ergonômico Integrado (IEI) para as máquinas de extração florestal no turno diurno.	147
Tabela 30. Fatores obtidos e suas variáveis correlacionadas para todas máquinas de colheita da madeira em ambos os turnos de trabalho.	149
Tabela 31. Indicador Ergonômico Integrado (IEI) das máquinas de colheita de madeira em ambos os turnos de trabalho.	150

1 INTRODUÇÃO GERAL E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

A colheita de madeira tem importância significativa no processo produtivo florestal, com participação expressiva na composição dos custos finais da madeira posta na indústria. Atualmente, mesmo as atividades sendo realizadas por meio de métodos mecanizados e com uso de máquinas modernas tecnologicamente, as operações de colheita da madeira podem afetar os operadores em função das condições inadequadas nos postos de trabalho.

Por isso, a ergonomia como ciência aplicada pode contribuir na busca por conforto, bem-estar, segurança e saúde dos trabalhadores no seu relacionamento com os sistemas produtivos. No Brasil, a ergonomia é regulamentada pela Norma Reguladora (NR) 17 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), que visa estabelecer os parâmetros que permitam esta adaptação e proporcionar um máximo de conforto, segurança, saúde e desempenho na execução do trabalho.

A modernização das operações florestais impactou tanto na gestão como na própria execução do trabalho, pois os trabalhadores florestais necessitaram aprender a trabalhar com os novos sistemas mecanizados. Desta forma, o uso da força física diminuiu, mas surgiram novas preocupações, como os movimentos repetitivos, as posturas inadequadas, os elevados níveis de vibração, a sonolência, as dores na coluna, etc., principalmente pelos operadores passarem grande período de tempo da jornada de trabalho de forma estática e com poucos movimentos nos postos de trabalho das máquinas florestais. Sendo assim, apesar das máquinas possuírem elevados níveis de tecnologia embarcada, ainda existe a necessidade de avaliar as condições ergonômicas das operações.

Nos atuais métodos de avaliação ergonômica que são aplicados na área florestal têm se utilizado normas regulamentadoras em relação às variáveis ergonômicas. Entretanto, cabe ressaltar que os estudos devem ser realizados de forma participativa, envolvendo o trabalhador sempre que possível, independente se for realizado no período diurno ou noturno, haja vista que o ser humano é o foco central dos benefícios advindos das melhorias ergonômicas.

A ergonomia faz uso de diversos métodos utilizados nas avaliações ergonômicas do trabalho que geralmente são utilizados de forma pontual, abordando as variáveis ergonômicas de forma isolada e não havendo uma correlação entre si. Como exemplo, podem ser citados os estudos de ergonomia de

máquinas, onde são comparadas as suas dimensões com as medidas antropométricas dos operadores e com as normas nacionais e internacionais, o ambiente de trabalho com mensuração da vibração, ruído, clima, etc., porém levantando tais variáveis de forma isolada, além de avaliações comportamentais que se preocupam com a saúde física e mental do trabalhador.

Outro aspecto importante é a necessidade de avaliação de mais variáveis ergonômicas para uma análise conjunta, devendo estas serem realizadas em uma mesma linguagem (escala de resultados) para facilitar as interpretações, pois alguma variável pode estar em desconformidade ergonômica, dificultando a tomada de decisão. Apesar de sua relevância, diagnósticos realizados de forma isolada podem dificultar a gestão sobre qual área deve ser priorizada em um determinado tratamento ergonômico, sendo, portanto, necessária a proposição de um método alternativo que possibilite correlacionar as diversas variáveis ergonômicas de forma simultânea e na mesma unidade de medida e interpretação dos resultados.

Além disso, as melhorias ergonômicas influenciam positivamente no desempenho e na produtividade do trabalho. Porém, a produtividade do trabalhador sempre foi determinada em função de estudos de tempos, de variáveis operacionais e de medidas da produção. Por isso, um problema que necessita ser melhor estudado refere-se à correlação existente entre a produtividade e as variáveis ergonômicas, de forma que o ritmo de trabalho seja humanamente sustentável, devendo ser considerado levar em consideração as limitações físicas e psíquicas dos trabalhadores.

Hipótese

A proposição de um método alternativo que correlacione as variáveis ergonômicas de forma padronizada numa mesma escala e quantificando a intensidade de cada variável associada à produtividade, possibilitará a realização de avaliações ergonômicas com tomada de decisões mais eficientes na busca de melhores condições de conforto, segurança e saúde dos operadores de máquinas de colheita da madeira.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa foi propor um novo método de avaliação ergonômica em operações mecanizadas de colheita da madeira, permitindo correlacionar as variáveis ergonômicas de forma integrada e contribuindo na busca de soluções para a melhoria das condições de conforto, segurança e saúde dos trabalhadores.

2.2 Objetivos específicos

Especificamente, objetivou-se:

- a) Avaliar variáveis ergonômicas em máquinas de colheita da madeira em diferentes turnos de trabalho, com vistas a identificar problemas e propor soluções ergonômicas para a melhoria das condições laborais.
- b) Propor um indicador ergonômico com classificação de acordo com a urgência de intervenção em operações de colheita da madeira, visando uma maior praticidade de aplicação.
- c) Desenvolver um Indicador Ergonômico Integrado (IEI) capaz de relacionar as variáveis ergonômicas simultaneamente com uso de informações de produtividade e testá-lo na avaliação ergonômica de máquinas de colheita de madeira.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Importância do setor de florestas plantadas

O setor de florestas plantadas se destaca como relevante para a sociedade brasileira, contribuindo tanto no aspecto econômico como no social e no ambiental. Representa uma parcela importante na geração de produtos, tributos, divisas, empregos e renda, além de ser um setor estratégico no fornecimento de matéria-prima para o desenvolvimento da indústria nacional de base florestal. Segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2018), responsável pela representação institucional da cadeia produtiva de árvores plantadas no Brasil, a área de árvores plantadas para fins industriais totalizou 7,84 milhões de hectares em 2017, sendo responsável por 90% do uso industrial. Deste total, 5,84 milhões de hectares são ocupados por plantios de eucalipto, localizados principalmente nos estados de Minas Gerais, São Paulo e Mato Grosso do Sul, enquanto os plantios de pinus ocupam 1,6 milhão de hectares concentrados, principalmente, no Paraná e em Santa Catarina.

Do ponto de vista econômico, o setor de florestas plantadas tem crescido anualmente e foi responsável em 2014 por 1,1% de toda a riqueza gerada no País e 6,1% do PIB industrial. Além disso, a indústria gerou R\$ 11,4 bilhões em tributos federais, estaduais e municipais, correspondendo a 0,9% de toda a arrecadação do país.

Em relação ao aspecto social, o setor florestal tem promovido a geração de empregos e renda, fixando populações no campo e auxiliando na melhoria da qualidade de vida nas áreas rurais. Além disso é responsável por aproximadamente 508 mil empregos diretos, que somados aos indiretos e aos resultantes do efeito renda (melhora econômico-financeira das regiões afetadas pelo empreendimento), totalizam 3,7 milhões de empregos.

Deve-se destacar também a importância ambiental do setor, contribuindo para a conservação da natureza e o equilíbrio do ambiente na promoção da biodiversidade, na recuperação e proteção de áreas degradadas, na manutenção dos regimes hídricos, edáficos e da qualidade do ar e fixação de carbono.

3.2 Modernização das operações florestais

No Brasil, a partir da década de 1990 houve uma intensificação no processo de modernização das operações de colheita da madeira, associada principalmente à redução da dependência de mão-de-obra, necessidade de melhorias nas condições de trabalho, redução do custo final da madeira posta em fábrica e da necessidade, por parte das indústrias, de um fornecimento maior e regular de madeira (BRAMUCCI e SEIXAS, 2002).

O desenvolvimento da atividade florestal implicou na necessidade do aperfeiçoamento das técnicas e operações florestais para a melhoria dos processos produtivos, segurança e saúde dos trabalhadores e sustentabilidade da produção florestal (LOPES *et al.*, 2013). Nota-se, também, o elevado percentual de utilização do método mecanizado nas operações de colheita florestal ao redor do mundo (Figura 1).

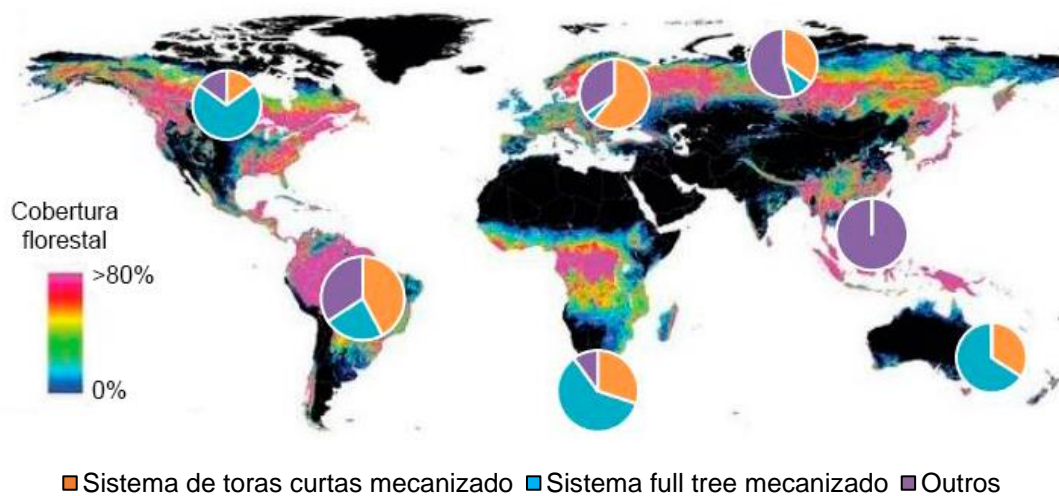


Figura 1. Principais sistemas de colheita mecanizados ao redor do mundo. Fontes: adaptado de Lundbäck *et al.* (2018) e Hansen *et al.* (2013).

A modernização das operações florestais impactou tanto nos modelos de negócio como na própria natureza do trabalho. Os trabalhadores florestais necessitaram aprender a trabalhar em novos sistemas mecanizados, mas deve ser lembrado que, quaisquer mudanças ou desenvolvimentos de tecnologia devem ser estudados sobre seus diversos impactos e diferentes aspectos (BAYNE e PARKER, 2012).

Desta forma, diminuiu-se o uso força física, mas novas preocupações surgiram nos postos de trabalho das máquinas florestais, tais como, os movimentos repetitivos e as posturas inadequadas, o aumento nos níveis de ruído e vibração, a sonolência, os problemas na coluna, dentre outros (LIMA *et al.*, 2005; FERNANDES *et al.*, 2011; GERASIMOV e SOLOKOV, 2014). Mesmo com a indústria de máquinas florestais tendo intensificado o uso de modernas tecnologias que oferecem maior conforto e segurança aos operadores, o trabalho continua sendo complexo, com demanda por muito tempo dos operadores permanecendo em uma mesma postura (sentada) no posto de trabalho e submetidos a elevados níveis de vibração em grande parte da jornada de trabalho, da exigência cognitiva e motora, movimentos de mãos e punhos e repetitividade (BAYNE e PARKER, 2012; ALMEIDA, *et al.*, 2015).

Sendo assim, pode-se dizer que as características atuais das operações de colheita da madeira presentes em diversos estudos são o elevado nível tecnológico, a alta produtividade, a melhor qualidade do produto final, o menor custo por unidade produzida, o menor contingente de mão de obra, a necessidade de operadores capacitados e melhores condições ergonômicas, quando comparadas a métodos manuais ou semimecanizados (FERNANDES *et al.*, 2011; PESCADOR *et al.*, 2013; LEITE *et al.*, 2014; LOPES *et al.*, 2014; MINETTE *et al.*, 2004).

3.3 Ergonomia

Os trabalhadores de qualquer setor estão suscetíveis a diferentes estímulos durante a execução das tarefas, podendo conduzi-los a erros de operação, comprometendo seu desempenho, sua segurança e a dos demais trabalhadores, podendo ainda levar a problemas de saúde física e emocional (ALMEIDA, *et al.*, 2015). Para estudar estes problemas, pode-se utilizar da ergonomia, conceituada como o estudo da adaptação do trabalho e suas interações com o homem (WISNER, 1994; IIDA e GUIMARÃES, 2016; *INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION* - IEA, 2019).

Oficialmente, a ergonomia foi definida em 2000 pela IEA como:

“A disciplina científica relacionada ao entendimento das interações entre os seres humanos e outros elementos ou sistemas, e à aplicação de teorias, princípios, dados e

métodos a projetos, a fim de otimizar o bem-estar humano e o desempenho global do sistema. Os ergonômicos contribuem para o planejamento, o projeto e a avaliação de tarefas, postos de trabalho, produtos, ambientes e sistemas de modo a torná-los compatíveis com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas.”

A ergonomia pode ser classificada em física, quando está relacionada às características da anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica; cognitiva, quando se refere aos processos mentais, tais como percepção, memória, raciocínio e resposta motora conforme afetam as interações entre os seres humanos e outros elementos de um sistema produtivo; e organizacional, quando se refere à otimização dos sistemas sociotécnicos, incluindo suas estruturas organizacionais, políticas e processos (IEA, 2019).

No Brasil, a Norma Regulamentadora dos aspectos ergonômicos do trabalho é a NR-17 (BRASIL, 1978a), do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Ela visa a estabelecer parâmetros que permitam a adaptação das condições de trabalho às características psicológicas e fisiológicas dos trabalhadores, de modo a proporcionar um máximo de conforto, segurança e desempenho eficiente.

3.3.1 Ergonomia na área florestal

A ergonomia cobre uma ampla variedade de ações, tais como: projeto de postos de trabalho, comunicação, organização e sistemas de trabalho. Assim, os estudos relacionados aos treinamentos, educação, comunicação, regulação e trabalho em equipe estão entre programas e tarefas em um nível macro nas organizações, enquanto em nível micro, pode-se considerar o projeto de ferramentas, de postos de trabalho, levantamento e transporte de cargas, trabalho em turnos, etc. (ASADZADEH *et al.*, 2013).

Na área florestal há diversos estudos ergonômicos relacionados ao excesso de esforços físicos em que os trabalhadores estão submetidos durante a realização das atividades, ressaltando que muitas delas são realizadas em ambiente aberto e por meio de métodos manuais e semimecanizados. Exemplo disto são os estudos sobre carga de trabalho físico (LOPES e OLIVEIRA, 2011; OLIVEIRA *et al.*, 2014;

BRITTO *et al.*, 2018), postura e biomecânica (LOPES *et al.*, 2013; BARBOSA *et al.*, 2014) e fatores ambientais (FIEDLER *et al.*, 2007; SOUZA *et al.*, 2015).

Em outra ótica, com o aumento do grau de mecanização das operações, pode-se citar os estudos em ergonomia de máquinas relacionados a dimensões de cabines, posturas, repetitividade e fatores ambientais (SHERWIN *et al.*, 2004; FERNANDES *et al.*, 2011; PAINI *et al.*, 2016).

3.3.2 Ergonomia na colheita florestal mecanizada

A colheita da madeira consiste na etapa final do ciclo produtivo das florestas plantadas, sendo um conjunto de operações realizadas no interior do povoamento florestal, visando a derrubada das árvores e a preparação da madeira para consumo final. E na cadeia produtiva, a colheita e o transporte da madeira representam mais de 50% do custo final da madeira posta na indústria, compondo as fases mais onerosas na cadeia produtiva (MACHADO, 2014; OLIVEIRA *et al.*, 2009), além de ser afetada por diversos fatores de ordem técnica, ambiental e ergonômica (LIMA, *et al.*, 2005; MACHADO, 2014)..

No Brasil, a maioria das operações de colheita da madeira é realizada por métodos mecanizados, com o uso de máquinas de alta tecnologia e capacidade produtiva, tanto nos sistemas de árvores inteiras (*full tree*), quando a árvore é derrubada e extraída para a margem do povoamento para realização do processamento final (FERNANDES, *et al.*, 2009; ROCHA *et al.*, 2009; PESCADOR *et al.*, 2013), quanto de toras curtas (*cut to length*), quando a madeira é extraída do interior do povoamento na forma de toras (LEITE *et al.*, 2013; OLIVEIRA, 2013).

Com a crescente mecanização das operações florestais novos problemas ergonômicos surgiram, com destaque para a ocorrência de movimentos repetitivos, posturas inadequadas, vibração, sonolência, etc. Além disso, os operadores das máquinas de colheita da madeira estão sendo afetados por injúrias no pescoço, braços e coluna cervical, sendo as principais causas atribuídas provavelmente aos excessivos períodos de tempo em que os operadores permanecem na posição sentada e de forma estática ou com poucos movimentos, sendo tais posições ergonomicamente inapropriadas, além da realização de movimentos repetitivos de curta duração (GERASIMOV e SOKOLOV, 2014). Apesar de a posição sentada ser melhor do que a em pé, deve-se evitar longo período sentado. A sugestão é que se

alterne períodos sentado com períodos em pé ou andando (DUL e WEERDMEESTER, 2012).

Outro fato a ser considerado se refere ao uso de máquinas adaptadas ou importadas de países com operadores de diferentes características antropométricas (FONTANA e SEIXAS, 2007). Neste sentido, a avaliação das possibilidades de regulagens que facilitem a melhor condição de trabalho para o operador mostra-se necessária, reiterando que ele passa a maior parte do tempo em contato total com os controles e acionadores.

Sendo assim, com o auxílio da ergonomia, pode-se melhorar o desempenho do trabalho, aumentando-se a qualidade e a produtividade. Conseqüentemente, os custos podem ser reduzidos (DUL e WEERDMEESTER, 2012). Diversas são as variáveis ergonômicas que podem ser avaliadas em operações florestais mecanizadas, com destaque para as vibrações de corpo inteiro, o ruído, a repetitividade, as posturas laborais, o calor, a iluminância e os ângulos de visibilidade.

Vibração é definida como qualquer movimento oscilatório que o corpo humano ou parte dele executa em torno de um ponto fixo, podendo ter padrão regular ou irregular, interferir na realização de tarefas, além de causar lesões e doenças (IIDA e GUIMARÃES, 2016). Um estudo sobre vibrações em *feller buncher*, *skidder* e garra traçadora apontou que mesmo com a elevada tecnologia utilizada nas máquinas de colheita da madeira, os níveis de exposição às vibrações ainda estão acima dos parâmetros recomendados pelas normas (ALMEIDA *et al.*, 2015).

O ruído é conceituado como uma mistura complexa de diversas vibrações, sendo um estímulo auditivo que não contém informações úteis para a tarefa em execução, podendo perturbar e, com o tempo, comprometer a capacidade auditiva do trabalhador (DUL e WEERDMEESTER, 2012; SANTOS *et al.*, 2014; IIDA e GUIMARÃES, 2016). Em uma avaliação do ruído no posto de trabalho de algumas máquinas de colheita da madeira no Brasil, verificou-se que o *feller buncher* e o *skidder* colocavam os trabalhadores em condições lesivas à sua saúde auditiva caso o trabalho fosse realizado de forma contínua (MINETTE *et al.*, 2007). Em outro estudo, máquinas semelhantes também foram consideradas inadequadas (FONSECA *et al.*, 2015) indicando que são necessárias medidas de proteção ao trabalhador.

A repetitividade está associada ao aparecimento de distúrbio osteomuscular relacionado ao trabalho (DORT) (COSTA e VIEIRA, 2010) e está relacionada com a manutenção de posturas inadequadas por longos períodos de tempos (SILVA *et al.*, 2013). Em um estudo com operadores de *harvester* e *forwarder*, observou-se que muitos deles apresentaram sintomas osteomusculares com características compatíveis com as das LER/DORT afetando, entre outras, as regiões dos pulsos, mãos, ombros e pescoço (SILVA *et al.*, 2014).

Em relação à manutenção de posturas incorretas, estas podem ocasionar graves consequências para a saúde do trabalhador, pois são consideradas mais nocivas quanto mais se afastam da posição de neutralidade funcional ou anatômica (posição que não exige esforço da musculatura ou das articulações, contra atuando com a gravidade) provocando, assim, doenças ocupacionais e lesões (COUTO, 1995). Em um estudo sobre posturas adotadas por um operador no carregamento mecanizado de madeira com a utilização do método RULA evidenciou risco ergonômico que poderia causar no futuro danos à saúde (PAINI *et al.*, 2016).

Quando o homem trabalha em temperaturas muito elevadas, há riscos de erros e acidentes (IIDA e GUIMARÃES, 2016). Na colheita mecanizada da madeira foi verificado que, apesar de haver isolamento entre a cabine e o meio externo, borrachas de vedação danificadas podem comprometer o conforto térmico dentro da cabine (MINETTE *et al.*, 2007).

Em condições adversas, a baixa luminosidade aumenta os riscos de acidentes, podendo provocar danos consideráveis à saúde dos trabalhadores (COUTO, 1995). Em um estudo sobre iluminância em operações de colheita florestal mecanizada no Brasil, verificou-se condições abaixo do ideal para *feller buncher* e *skidder* (MINETTE *et al.*, 2007). Em outro estudo, desta vez na Austrália, foram verificadas boas condições de iluminância para *harvester* e ruins para *forwarder* (NICHOLLS *et al.*, 2004).

A visibilidade de máquinas de corte e extração da madeira foi apontada pelos próprios operadores como uma das deficiências do maquinário (SYNWOLDT e GELLERSTEDT, 2003) e profissionais da área florestal também relataram que é importante a melhoria da visibilidade principalmente em locais de topografia mais acidentada, com presença de encostas e declives íngremes (BAYNE e PARKER, 2012). Desta forma, mostra-se a importância de se estudar as variáveis citadas no trabalho com máquinas de colheita da madeira.

Dentre as variáveis ergonômicas que podem impactar diretamente o trabalho com as máquinas de colheita da madeira, foram destacadas na literatura as vibrações de corpo inteiro, o ruído, o calor, a iluminância, a repetitividade, as posturas laborais e os ângulos de visibilidade. Estas variáveis estão explicitadas nesta revisão tanto no âmbito de sua importância para a melhoria do trabalho como no de métodos para sua avaliação e elaboração de um diagnóstico ergonômico.

3.3.3 Variáveis ergonômicas na colheita florestal mecanizada

3.3.3.1 Vibrações de corpo inteiro

Vibração é qualquer movimento oscilatório que o corpo ou parte dele executa em torno de um ponto fixo, podendo ter padrão regular ou irregular, interferir na realização de tarefas, além de causar lesões e doenças, sendo caracterizada por três variáveis: frequência, intensidade do deslocamento ou aceleração máxima sofrida pelo corpo e direção do movimento (IIDA e GUIMARÃES, 2016).

As vibrações podem afetar todo o corpo ou apenas parte dele, como as mãos e os braços, por exemplo. As vibrações de corpo inteiro (VCIs) ocorrem quando há vibração dos pés (posição em pé) ou do assento (posição sentada), enquanto as vibrações de mãos e braços ocorrem quando são usadas ferramentas elétricas e pneumáticas portáteis, como furadeiras e motosserras. (SHERWIN *et al.*, 2004; DUL e WEERDMEESTER, 2012).

Os efeitos das vibrações sobre o corpo humano podem ser extremamente graves, podendo danificar permanentemente alguns órgãos. As vibrações, dependendo de sua frequência, podem ocasionar males fisiológicos e psicológicos, como a falta de concentração e visão turva (diminuindo a percepção visual), degeneração do tecido vascular e nervoso, como no caso de operadores de motosserra, causando perda da capacidade manipulativa e o tato das mãos, doenças cardiovasculares, dores agudas, entre outros. Além disso, a exposição continuada pode causar lesões na coluna vertebral, desordem gastrointestinal e perda de controle muscular de partes do corpo (IIDA e GUIMARÃES, 2016).

A vibração do corpo inteiro pode ser aferida por meio de um medidor de vibrações instalado no assento da máquina, composto por um acelerômetro triaxial acoplado internamente a um *seatpad* que coleta e armazena as vibrações dos eixos X, Y e Z do corpo humano e as registra em uma coletora de dados (Figura 2).

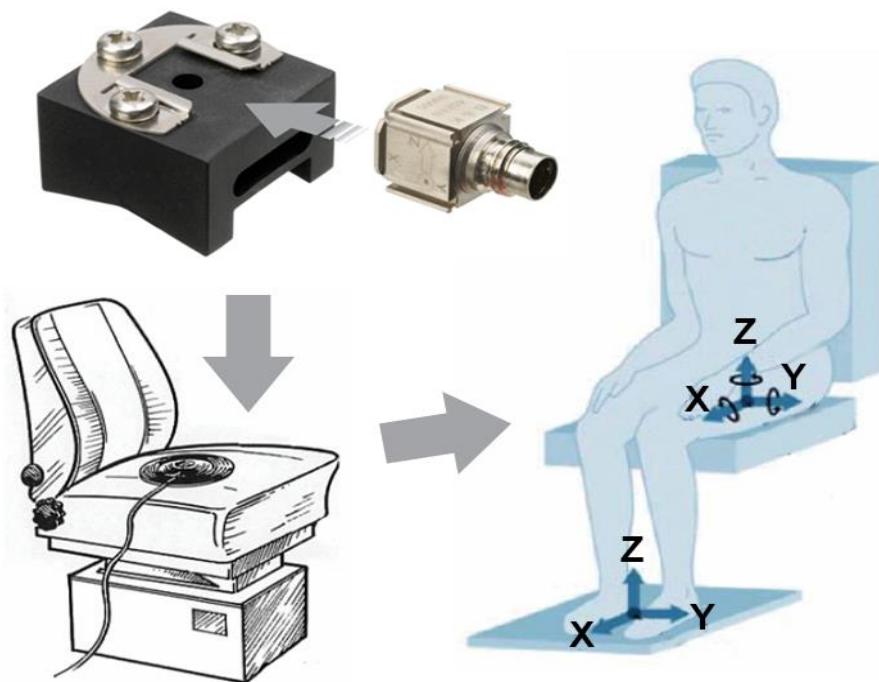


Figura 2. Medidor de vibração de corpo inteiro com acelerômetro triaxial (X, Y e Z) instalado no assento da máquina. Fonte: Brüel & Kjær (2009).

A avaliação da exposição à vibração pode ser realizada por meio da Norma de Higiene Ocupacional (NHO) 09, proposta pela Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho - Fundacentro (FUNDACENTRO, 2013), que teve como bases a ISO 2631-1 - *Mechanical vibration and shock - Evaluation of human exposure to whole-body vibration, Part 1: General requirements*, de 1997, e também a ISO 8041 - *Human response to vibration – Measuring instrumentation*, de 2005. A NHO 09 é a norma indicada para avaliação das VCIs pela Norma Regulamentadora (NR) 15 - Atividades e Operações Insalubres, em seu Anexo número 8: Vibração (BRASIL, 1978 b).

Em estudos de vibrações em *feller buncher*, *skidder* e garra traçadora, observou-se que, mesmo com a alta tecnologia empregada nas máquinas de colheita da madeira, os níveis de exposição às vibrações ainda estavam acima dos parâmetros recomendados pelas normas (ALMEIDA *et al.*, 2015). Em tal estudo, o *feller buncher* apresentou uma magnitude de vibração equivalente a $1,12 \text{ m/s}^2$, o *skidder* $1,95 \text{ m/s}^2$ e a garra traçadora $0,99 \text{ m/s}^2$, enquanto o limite para o nível de ação era de $0,5 \text{ m/s}^2$ e de exposição de $1,15 \text{ m/s}^2$.

No trabalho, deve-se evitar que as vibrações cheguem ao desconforto, devendo buscar formas de impedir a ocorrência de choques e solavancos, para

minimizar ou eliminar a fonte das vibrações. Também contribuem para a redução das VCI's a realização da manutenção dos equipamentos de forma correta, a redução da transmissão das vibrações ou, em último caso, a proteção do trabalhador (DUL e WEERDMEESTER, 2012).

3.3.3.2 Ruído

O ruído é, por definição, um estímulo auditivo que não contém informações úteis para a tarefa em execução. É formado por uma mistura complexa de diversas vibrações, medida em escala logarítmica, em uma unidade chamada decibel (dB) e possuindo três características principais, que são: frequência, intensidade e duração (IIDA e GUIMARÃES, 2016).

A presença de ruídos elevados no ambiente de trabalho pode perturbar e, com o passar do tempo, comprometer a audição do trabalhador. O primeiro sintoma é a progressiva dificuldade para entender a fala em ambientes barulhentos. Isto ocasiona a interferência nas comunicações e a redução da concentração, que podem ocorrer com ruídos relativamente baixos. Os ruídos elevados por um tempo prolongado podem causar danos irreversíveis à audição (DUL e WEERDMEESTER, 2012; SANTOS *et al.*, 2014). Esta variável ergonômica pode ser medida por meio de um dosímetro de ruído.

A exposição ao ruído está regulamentada na Norma Regulamentadora (NR) número 15, que trata das atividades e operações insalubres. Foi instituída na Portaria do Ministério do Trabalho (MTb) n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 (BRASIL, 1978b). Os limites de tolerância ao ruído contínuo ou intermitente estão descritos em seu Anexo nº 1, onde há a diferenciação entre ruído de impacto, como aquele que apresenta picos de energia acústica com duração inferior a um a intervalos superiores a um segundo, e contínuo ou intermitente como aquele que não está classificado como ruído de impacto ou impulsivo.

O limite máximo permissível para um trabalho de 8 horas sem utilização de protetor auditivo deve ser de 85 dB (A), considerado como 100% da dose diária de acordo com a NR 15. Entretanto, na análise dos resultados da medição outros limites também devem ser considerados, como o nível de ação (BRASIL, 1978c) e o conforto acústico (BRASIL, 1978a), conforme mostrado na Tabela 1.

Tabela 1. Limites utilizados na avaliação da exposição ocupacional ao ruído.

Limite Máximo	Ruído em dB (A)	Norma Regulamentadora
Exposição	85	15
Nível de ação	80	09
Conforto	65	17

Fontes: BRASIL (1978a, b e c).

Para fins de prevenção, a NR 09, que trata do Programa de Prevenção de Riscos Ambientais (PPRA), assevera que as situações que apresentem exposição ocupacional acima dos níveis de ação devem ser objeto de controle sistemático. Para o ruído, o nível de ação é a partir de 50% da dose diária, e como o incremento da pressão sonora dobra a cada 5 dB (A), o valor limite é equivalente a 80 dB (A) para medidas preventivas (BRASIL, 1978c). Como a ergonomia busca adaptar o trabalho às características humanas, ainda há de se considerar o conforto e ressaltar a NR 17 onde orienta que, nos locais de trabalho onde são executadas atividades que exijam solicitação intelectual e atenção constantes, o nível de ruído aceitável para efeito de conforto é de 65 dB (A) (BRASIL, 1978a).

Em uma avaliação do ruído no posto de trabalho de algumas máquinas de colheita de madeira no Brasil, verificou-se que o *feller buncher* e o *skidder* ultrapassaram o limite máximo de 85 dB (A) para 8 horas, dado pela NR 15, com 89 e 106 dB(A), respectivamente (MINETTE *et al.*, 2007). Em outro estudo, máquinas semelhantes também ultrapassaram este limite (FONSECA *et al.*, 2015) indicando que são necessárias medidas de proteção ao trabalhador.

3.3.3.3 Exposição ao calor

Quando o homem trabalha submetido a temperaturas muito elevadas, há um decréscimo no seu rendimento, ritmo de trabalho e concentração, aumentando, assim, a frequência de pausas e os riscos de erros e acidentes de trabalho. A exposição ao calor por tempo prolongado, além de ocasionar aumento da temperatura corpórea, poderá causar doenças de pele, sobrecarga térmica e riscos de acidentes (IIDA e GUIMARÃES, 2016).

Além da temperatura, a umidade do ambiente também é muito importante. O ar muito úmido (umidade relativa acima de 70%) ou muito seco (inferior a 30%)

poderá afetar negativamente o trabalhador. Se muito seco, o ar poderá ocasionar irritação nos olhos e mucosas, além de produzir eletricidade estática (riscos de incêndios, choques, interferências em equipamentos). Se saturado, dificultará a evaporação do suor, tornando-se incômodo para trabalhos pesados (DUL e WEERDMEESTER, 2012).

As diferentes combinações desses fatores podem produzir uma mesma sensação térmica, delimitando a zona de conforto térmico, cuja temperatura é de 20 a 24°C, umidade relativa entre 40% e 60% e velocidade do ar de 0,7 m/s (IIDA e GUIMARÃES, 2016). O indicador utilizado na avaliação da exposição ocupacional ao calor é o Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo (IBUTG), que é determinado por um medidor de estresse térmico composto por um termômetro de bulbo seco, um termômetro de bulbo úmido e um termômetro de globo.

O IBUTG está incluído na legislação brasileira, também pela NR 15, instituída na Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 (BRASIL, 1978b). Os limites de tolerância para exposição ao calor são abordados em seu Anexo 3, onde está descrito que as medições devem ser efetuadas no local em que está o trabalhador, à altura da região do corpo mais atingida, e deve ser avaliado da seguinte maneira:

$$\text{IBUTG} = 0,7 \times \text{tbn} + 0,3 \times \text{tg}$$

se em ambiente interno ou externo sem carga solar

$$\text{IBUTG} = 0,7 \times \text{tbn} + 0,1 \times \text{tbs} + 0,2 \times \text{tg}$$

se em ambiente externo com carga solar

Onde: tbn = temperatura de bulbo úmido natural; tg = temperatura de globo; tbs = temperatura de bulbo seco.

Os valores de IBUTG, de acordo com a NR-15, são classificados conforme o esforço da atividade. Assim, os limites máximos para o trabalho contínuo não devem ultrapassar ao valor de 30,0 para o trabalho leve, como no caso da operação de máquinas de colheita, semelhantes à descrição de “sentado com movimentos moderados com braços e pernas (ex.: dirigir)” presente na norma.

Estudos com o IBUTG na área florestal são, na maioria dos casos, efetuados em atividades a céu aberto ou que exijam trabalho manual. Já foram encontrados

valores acima do permitido pela NR 15 no trabalho em casas de vegetação (ALVES *et al.*, 2002), na poda de árvores (FIEDLER *et al.*, 2007). Em indústrias de processamento da madeira foi verificado que os valores permaneceram em conformidade com o permitido (LOPES *et al.*, 2004).

Na área de colheita da madeira mecanizada foi verificado que, apesar de haver isolamento entre a cabine e o meio externo, situações de borrachas de vedação danificadas ou vidros quebrados podem comprometer o conforto térmico dentro da cabine (MINETTE *et al.*, 2007). Desta forma, mostra-se a importância de realizar estudos que caracterizem a exposição do trabalhador florestal ao calor, mesmo que em máquinas florestais.

3.3.3.4 Iluminância

A avaliação da iluminação em ambientes de trabalho é importante por se tornar uma fonte de tensão em ambientes desfavoráveis. Em condições adversas, causa desconforto, aumenta os riscos de acidentes e pode provocar danos consideráveis à saúde dos trabalhadores (COUTO, 1995). A intensidade de luz incidente deve ser suficiente para garantir uma boa visibilidade (DUL e WEERDMEESTER, 2012).

É importante que a iluminação seja distribuída de forma uniforme, geral e difusa, evitando ofuscamento, reflexos incômodos, sombras e contrastes excessivos (FIEDLER, 2007). Ao trabalhar no período noturno, muitos operadores da colheita mecanizada deixam cair o padrão de qualidade e a produtividade do trabalho. Uma razão é que a máquina não fornece iluminação adequada para árvores de difícil acesso, visto que o trabalho após o anoitecer é mais exigente e cansativo em relação ao período diurno, tornando o trabalhador mais propenso a cometer erros (SKOGFORSK, 1999).

A iluminância pode ser medida com o uso de um Luxímetro com fotocélula, que capta o fluxo luminoso recebido por uma superfície. Na legislação brasileira, a norma para iluminação em ambientes internos é a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013), que cancelou e substituiu a NBR 5413 (ABNT, 1992). Na ausência de normas brasileiras específicas para ambientes externos, pode-se utilizar a Norma Europeia EN 12464-2 (CEN, 2007) ou as diretrizes do SKOGFORSK (1999), ainda

mais rigorosas que esta última citada. Os limites mínimos de iluminância orientados estão mostrados na Tabela 2, para cada local da máquina.

Tabela 2. Diretrizes para estudo iluminação em máquinas florestais.

Local	Iluminância Mínima (lux)
Próximo ao implemento (menos de 4 metros de raio)	120
Raio operacional da lança	60
1,5 vez o raio operacional da lança	15
20 metros na direção da operação	10

Fonte: Skogforsk (1999).

Em um estudo sobre iluminância em operações de colheita florestal mecanizada no Brasil, verificou-se condições abaixo do ideal para *feller buncher* e *skidder*, os quais apresentaram iluminância abaixo de 100 lux (MINETTE *et al.*, 2007). Em outro estudo, desta vez na Austrália, foram verificadas boas condições de iluminância para *harvester* e ruins para *forwarder* (NICHOLLS *et al.*, 2004). Desta forma, mostra-se a importância de se estudar esta variável ergonômica nas máquinas de colheita da madeira.

3.3.3.5 Repetitividade

A repetitividade é um dos problemas que surgiram com o advento da mecanização florestal, trazendo repetições de movimentos de curta duração (GERASIMOV e SOKOLOV, 2014) e estando, muitas vezes, associada ao aparecimento de distúrbio osteomuscular relacionado ao trabalho (DORT) (COSTA e VIEIRA, 2010).

Por vezes a repetitividade, principalmente das mãos, aparece relacionada com a manutenção de posturas inadequadas por longos períodos de tempos, podendo ocasionar problemas de lesão por esforços repetitivos (LER) e/ou DORT (SILVA *et al.*, 2013). Em um estudo com trabalhadores de *harvester* e *forwarder*, observou-se que muitos deles apresentaram sintomas osteomusculares com características compatíveis com as LER/DORT afetando, entre outras, as regiões dos pulsos, mãos, ombros e pescoço (SILVA *et al.*, 2014). Além disso, já foram verificados riscos de LER/DORT em outras atividades como, por exemplo, corte

mecanizado com motosserra, extração e carregamento manual (MINETTE *et al.*, 2018), aplicação de gel hidro retentor para implantação de plantios florestais (CARMO *et al.*, 2013) e mensuração florestal (SCHETTINO *et al.*, 2016).

Alguns métodos para avaliação de repetitividade ocupacional são o índice de TOR-TOM (Taxa de Ocupação Real/Taxa de Ocupação Máxima) proposto por Couto (2006); a escala de Latko *et al.* (1997); o critério de Silverstein (1987) e o *Strain Index* (Índice de Esforço) de Moore e Garg (1995), sendo este último um método semiquantitativo para análise dos postos de trabalho.

Segundo Moore e Garg (1995), os seis fatores analisados para o cálculo do *Strain Index* (SI) são a intensidade, a duração e a frequência do esforço, a postura da mão e do punho, o ritmo e a duração do trabalho. O Fator Intensidade do Esforço (FIT) é determinado pela observação do pesquisador ou do entrevistado, com a utilização auxiliar da escala CR 10 de Borg, conforme a Tabela 3.

Tabela 3. Determinação da intensidade do esforço realizado para obtenção do *Strain Index*.

Critério	Percentual da Força Máxima	Escala de Borg	Esforço	Fator de Multiplicação
Leve	< 10	≤ 2	Pouco perceptível ou relaxado	1
Pouco difícil	10 a 29	3	Perceptível ou definido	3
Difícil	30 a 49	4 a 5	Óbvio, expressão facial inalterada	6
Muito difícil	50 a 79	6 a 7	Substancial, mudança na expressão facial	9
Próximo ao máximo	≥ 80	> 7	Utiliza ombro ou tronco para gerar força	13

Fonte: Adaptado de Moore e Garg (1995).

O Fator Duração do Esforço (FDE) está relacionado com o percentual do tempo que o esforço é aplicado em relação à duração do trabalho, ou seja, o tempo efetivo do ciclo em que se executa o esforço. Ele pode ser calculado de acordo com a fórmula a seguir, para então ser confrontado com o fator de multiplicação (Tabela 4).

$$\text{Duração do esforço (\%)} = \frac{\text{Duração média dos esforços por ciclo (s)}}{\text{Duração média dos ciclos (s)}} \times 100$$

Tabela 4. Determinação da duração do esforço realizado para obtenção do *Strain Index*.

Duração do Esforço (%)	Fator de Multiplicação
≤ 10	0,5
10 a 29	1,0
30 a 49	1,5
50 a 79	2,0
≥ 80	3,0

Fonte: Adaptado de Moore e Garg (1995).

O Fator Frequência do Esforço (FFE) é definido pelo número de esforços efetivados por minuto, um dos indicadores mais importantes para a caracterização da repetitividade. O cálculo é feito pela relação entre o número de esforços que ocorrem por ciclo e sua duração, como apresentado na fórmula a seguir para posterior confrontação com o fator de multiplicação (Tabela 5).

$$\text{Frequência de esforços (n/min)} = \frac{\text{Quantidade média de esforços por ciclo (n)}}{\text{Duração média dos ciclos (min)}} \times 100$$

Tabela 5. Determinação da frequência de esforços para obtenção do *Strain Index*.

Quantidade de Esforços por Minuto	Fator de Multiplicação
≤ 4	0,5
4 a 8	1,0
9 a 14	1,5
15 a 19	2,0
≥ 20	3,0

Fonte: Adaptado de Moore e Garg (1995).

O Fator Postura de Mão e Punho (FPMP) é avaliado subjetivamente ou por meio da análise das angulações dos punhos durante a execução da tarefa e classificadas com auxílio da Tabela 4. Após definido, seu posicionamento deve ser equiparado com o respectivo fator de multiplicação (Tabela 6).

Tabela 6. Determinação da postura de mãos e punhos para obtenção do *Strain Index*.

Critério	Angulação de Mãos e Punhos (graus)			Postura Percebida	Fator de Multiplicação
	Extensão	Flexão	Ulnar ou Radial		
Muito boa	0 a 10	0 a 5	0 a 10	Perfeitamente neutra	1,0
Boa	11 a 25	6 a 15	11 a 15	Quase neutra	1,0
Razoável	26 a 40	16 a 30	16 a 20	Não neutra	1,5
Ruim	41 a 55	31 a 50	21 a 25	Desvio acentuado	2,0
Muito ruim	> 60	> 50	> 25	Próximo ao extremo	3,0

Fonte: Adaptado de Moore e Garg (1995).

O Fator Ritmo de Trabalho (FRT) ou velocidade é determinado subjetivamente. Seus critérios para enquadramento no fator de multiplicação estão mostrados na Tabela 7.

Tabela 7. Determinação do ritmo de trabalho para obtenção do *Strain Index*.

Critério	Ritmo (%)	Ritmo Percebido	Fator de Multiplicação
Muito baixo	< 80	Extremamente relaxado	1,0
Baixo	81 a 90	No próprio tempo	1,0
Razoável	91 a 100	Velocidade normal	1,0
Rápido	101 a 115	Apressado, porém acompanha	1,5
Muito rápido	> 115	Apressado, incapaz de acompanhar	2,0

Fonte: Adaptado de Moore e Garg (1995).

O Fator Duração do Trabalho (FDT) representa a totalidade diária de tempo, em horas, em que é executado o trabalho. Seus critérios de adequação ao respectivo fator de multiplicação estão mostrados na Tabela 8.

Tabela 8. Determinação da duração do trabalho para obtenção do *Strain Index*.

Duração Diária do Trabalho (h)	Fator de Multiplicação
≤ 1	0,25
1 a 2	0,50
2 a 4	0,75
4 a 8	1,00
≥ 8	1,50

Fonte: Adaptado de Moore e Garg (1995).

De posse de todos os seis fatores de multiplicação referentes a FIT, FDE, FFE, FPMP, FRT e FDT, estes devem ser multiplicados entre si. O produto, então, é o valor calculado de SI. Se tal indicador for menor que 3, significa que o trabalho é seguro, com provável ausência de riscos de DORT. Se estiver entre 3 e 5, significa que é incerto, com riscos de DORT eventuais. Valores entre 5 e 7 possuem algum risco, com a tarefa associada a DORT. Acima de 7 indica atividade com alto risco de DORT.

3.3.3.6 Postura corporal

Os projetos inadequados de assentos, comandos e postos de trabalho nas máquinas podem forçar o trabalhador a adotar posturas incorretas na execução de sua atividade (IIDA e GUIMARÃES, 2016). O trabalho realizado com a adoção de postura inadequada pode ocasionar graves consequências para a saúde, sendo esta considerada mais nociva quanto mais se afasta da posição de neutralidade funcional ou anatômica (posição que não exige esforço da musculatura ou das articulações, contra atuando com a gravidade) provocando, assim, doenças ocupacionais e lesões (COUTO, 1995).

A utilização prática dos resultados de análises posturais é muito útil na resolução de problemas de queda de produtividade e de acidentes no trabalho. Posturas perigosas ao trabalhador podem ser corrigidas por meio de treinamentos específicos, objetivando-se a adoção de posturas mais seguras, saudáveis e confortáveis para a realização da atividade (FIEDLER *et al.*, 1999). Como o trabalho de operadores de máquinas de colheita da madeira exige maior utilização dos membros superiores, um método que pode ser utilizado para a avaliação postural é

o *Rapid Upper-Limb Assessment* (RULA) ou Avaliação Rápida dos Membros Superiores, com foco na sobrecarga de tais membros (McATAMNEY e CORLETT, 1993). Por meio dele pode ser avaliado o trabalho muscular de forma estática, as forças aplicadas nos segmentos do corpo humano e o reconhecimento das angulações dos movimentos nos diferentes membros do corpo, além de abranger análise de repetitividade e manuseio de cargas.

Um estudo sobre posturas adotadas por um operador no carregamento mecanizado de madeira com a utilização do método RULA, evidenciou risco ergonômico que poderia causar no futuro danos à saúde e afetar a produtividade (PAINI *et al.*, 2016). Assim, dadas as necessidades posturais já evidenciadas, mostra-se a importância de serem realizadas avaliações nas máquinas de colheita da madeira para a verificação das reais condições de saúde e segurança postural.

3.3.3.7 Ângulos de visibilidade

Muitas vezes, as condições para se manter uma boa visibilidade entram em conflito com o projeto das máquinas de colheita da madeira, pois cabines muito largas prejudicam o campo visual nas laterais, e quanto mais baixa a cabine estiver em relação à plataforma de operação, menor será o campo visual (FERNANDES *et al.*, 2009). Outros fatores que dificultam a visibilidade se referem à localização adequada da lança, das colunas da cabine e da presença de grades de proteção (SKOGFORSK, 1999). Por isso, ressalta-se a importância de o projeto de cabines ser feito levando em consideração a máxima diminuição possível de suportes que impeçam a visão do local de trabalho pelo operador (SCHLOSSER *et al.*, 2011).

A visibilidade de máquinas de corte e extração da madeira foi apontada pelos próprios operadores como uma das deficiências das máquinas que operavam (SYNWOLDT e GELLERSTEDT, 2003), enquanto que profissionais da área florestal também relataram sobre a importância da melhoria da visibilidade, principalmente em locais de topografia mais acidentada, com presença de encostas e declives íngremes (BAYNE e PARKER, 2012).

Neste sentido, um método que estabelece limites ideais e máximos aceitáveis para movimentos da cabeça foi desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Florestais da Suécia (SKOGFORSK, 1999). Quanto mais próximo da posição neutra, melhor é

a visibilidade e os ângulos máximos devem ser usados somente durante curtos intervalos e em situações isoladas no trabalho (Figura 3).

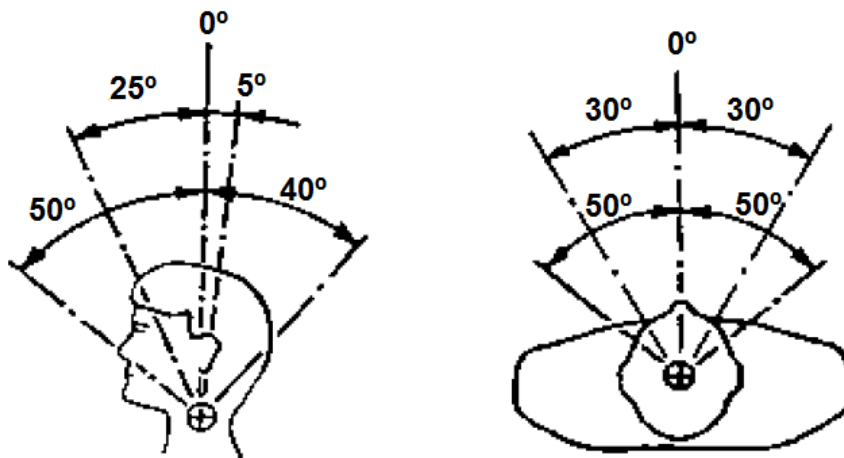


Figura 3. Ângulos ideais e máximos dos movimentos da cabeça e do pescoço durante a realização do trabalho. Fonte: Skogforsk (1999).

Esta avaliação é importante, pois a postura que o trabalhador adota poderá ser influenciada pelos ângulos de visibilidade dentre os quais permanece durante a jornada de trabalho, relacionando-se principalmente aos movimentos da cabeça e do pescoço. Os movimentos como a flexão da cabeça para trás, principalmente quando associados ao movimento da frente do pescoço e vibrações da máquina podem ocasionar lesões ao trabalhador (SKOGFORSK, 1999).

3.3.4 Ergonomia participativa

Quanto maior a distância entre os trabalhadores operacionais e os gestores tomadores de decisão, mais difícil é a comunicação de problemas ou qualquer outro aspecto do ambiente de trabalho, aumentando incertezas e riscos operacionais (LEVESON, 2004). Promover mudanças por meio de intervenções ergonômicas não é algo fácil (VINK *et al.*, 2008), principalmente nos países em desenvolvimento, onde as empresas desejam obter retorno rápido em seu investimento, capital e maquinário. Além disso, algumas vezes utilizam excessiva carga horária de trabalho para aumentar a produção, sob condições de baixíssima saúde e segurança (AHASAN *et al.*, 2002). O Brasil não se mostra como exceção neste cenário (GUIMARÃES *et al.*, 2014).

Para que haja maiores chances de sucesso nas melhorias das condições de trabalho, sugere-se o uso da “ergonomia participativa”, que preza como fundamental a adesão tanto de gestores como de trabalhadores na intervenção ergonômica (VINK *et al.*, 2008; GUIMARÃES *et al.*, 2014). Em outras palavras, busca compatibilizar o que os trabalhadores gostariam de fazer em relação ao que os gestores acreditam que é o que deve ser feito (KLEINER, 2004; MURPHY *et al.*, 2014). O sucesso da boa ergonomia não está em suas ferramentas de coleta em campo, mas sim no detalhamento, na profundidade e no olhar sobre o trabalho (SALERNO, 2000).

Uma forma de entender as aspirações e sentimentos dos trabalhadores com relação às suas atividades laborais é a aplicação de questionários sobre fatores humanos e condições de trabalho. Em um primeiro momento, busca-se caracterizar o trabalhador a ser estudado, sua origem, saúde, hábitos e costumes. Em um segundo momento, procura-se entender o olhar do trabalhador acerca de seu próprio trabalho, com assuntos relacionados à segurança e proteção, relacionamento interpessoal, condições do ambiente de trabalho, dentre outros. Este método foi utilizado em diversos estudos na área florestal (BENTLEY *et al.*, 2005; FIEDLER *et al.*, 2001; GUIMARÃES *et al.*, 2013; OLIVEIRA e ALVES, 2017; PIMENTA *et al.*, 2006).

Em um estudo sobre fatores humanos e condições de trabalho em atividades de implantação florestal, foram evidenciados pontos negativos nas instalações sanitárias, nos óculos de proteção e nas ferramentas para adubação e aplicação de herbicida (BRITTO *et al.*, 2015). Outro estudo relatou pontos negativos tanto no capacete com viseira e nas luvas, como também nas instalações sanitárias (LOPES *et al.*, 2011). No corte de eucalipto com motosserra, foram observados elevados índices de acidentes e lombalgias, e necessidades de melhorias na refeição fornecida aos trabalhadores (SANT’ANNA e MALINOVSKI, 2002). Todos estes estudos tiveram em comum a mesma ferramenta participativa, que foi o questionário aplicado ao trabalhador florestal.

3.3.5 Desafios na avaliação integrada em máquinas florestais

É consolidada a necessidade de realizar estudos ergonômicos em máquinas florestais, dada a quantidade de publicações recentes neste tema (FONSECA *et al.*,

2015; HÄGGSTRÖM *et al.*, 2016; SCHETTINO *et al.*, 2017). Contudo, grande parte dos estudos de ergonomia em operações florestais mecanizadas são realizados de forma pontual, abordando uma ou poucas variáveis específicas, entretanto sem correlacionar com mais variáveis que também possam estar apresentando influência nas condições ergonômicas. Como exemplo, pode-se citar os estudos de ergonomia de máquinas, onde se comparam as dimensões da máquina com os operadores ou com as normas nacionais e internacionais (FERNANDES *et al.*, 2009; GERASIMOV e SOKOLOV, 2009; FERNANDES *et al.*, 2010; FERNANDES *et al.*, 2011; PENNA *et al.*, 2011); os estudos do ambiente de trabalho, mensurando vibrações, ruídos ou outras interferências na máquina em operação (SHERWIN *et al.*, 2004; ALMEIDA *et al.*, 2015; FONSECA *et al.*, 2015); e os estudos comportamentais que se preocupam com a saúde física e mental do trabalhador (MINETTE, *et al.*, 2008; LEITE *et al.*, 2012, SILVA *et al.*, 2013).

Ao terem estudado diversas ferramentas e máquinas de colheita da madeira, desde diferentes tipos de motosserras até *feller bunchers*, *skidders*, *harvesters* e *forwarders*, Gerasimov e Sokolov (2014) propuseram uma forma de avaliação integrada por meio da Taxa de Severidade do Trabalho. Primeiramente, calculou-se o grau de conformidade da avaliação ergonômica com as normas preestabelecidas, conforme citado por Frumkin *et al.* (1999), de forma a se obter um valor entre 0 e 1 para cada uma delas, no qual 1 significava perfeita adequação às normas, e quanto mais se afaste em direção a 0, pior seria a condição ergonômica. O grau de conformidade pode ser calculado de acordo com as seguintes fórmulas:

$$V = 1 - 0,69 \times \left(\frac{x}{x_{\max}} \right)^4$$

se as normas determinam um valor máximo possível

$$V = 1 - 0,69 \times \left(\frac{x_{\min}}{x} \right)^4$$

se as normas determinam um valor mínimo possível

$$V = 1 - 0,69 \times \left(\frac{|x - 0,5 \times (x_{\max} + x_{\min})|}{0,5 \times (x_{\max} + x_{\min})} \right)$$

se as normas determinam um intervalo de conformidade possível

onde: V = grau de conformidade; x = valor da variável ergonômica medida; x_{\min} e x_{\max} = possível valor mínimo e máximo de acordo com as normas.

O comportamento da desconformidade ergonômica se dá de tal forma que descreve uma parábola, valorizando os valores próximos do limite e os penalizando quanto mais se afastam de tal valor (Figura 4).

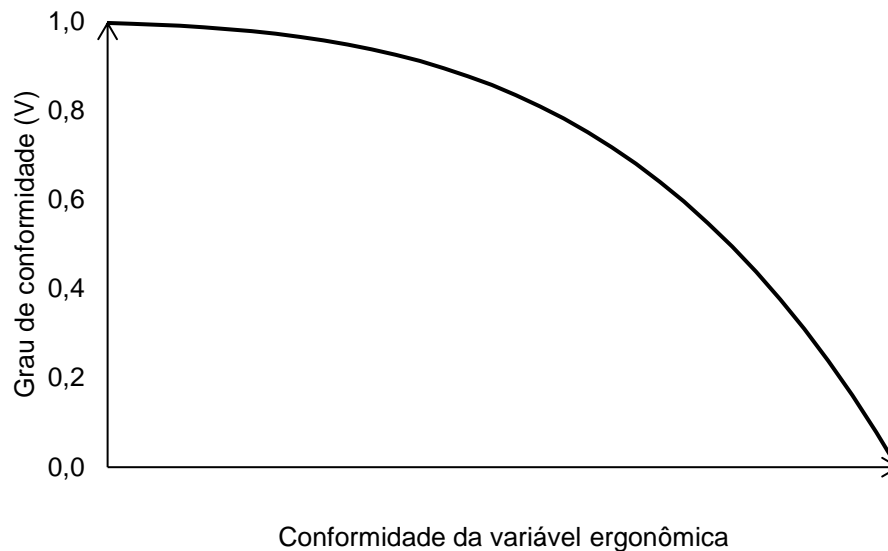


Figura 4. Comportamento da variável ergonômica relacionada com seu respectivo Grau de Conformidade (indicador ergonômico).

Em seguida, determina-se a Taxa de Severidade do Trabalho (*Work Severity Rate*), de acordo com a fórmula:

$$I = 7 - 6p_{\min} + \frac{6p_{\min} - 1}{6(n - 1)} \left(7(n - 1) - 6 \sum_{i=1}^{n-1} p_i \right)$$

onde: p_{\min} = mínimo valor dos indicadores calculados; n = número de indicadores calculados; e $\sum_{i=1}^{n-1} p_i$ = somatória dos indicadores com exceção do mínimo.

A taxa de gravidade do trabalho pode, então, ser avaliada de 0 a 6. Um valor mais alto significa uma severidade mais elevada nas condições de trabalho. Isto permite a comparação direta das condições de trabalho em diferentes locais de trabalho. Uma taxa de gravidade mais alta representa condições de trabalho mais difíceis, e dependendo do valor, as condições de trabalho foram categorizadas

como “confortável”, “relativamente desconfortável”, “extrema” ou “superextrema” (GERASIMOV e SOKOLOV, 2014).

Indicadores são modelos simplificados da realidade com a capacidade de facilitar a compreensão dos fenômenos, eventos ou percepções, de modo a aumentar a capacidade de comunicação de dados brutos e de adaptar as informações a diferentes linguagens e interesses (MAGALHÃES JÚNIOR, 2007). Um indicador muito utilizado no Brasil, mas desenvolvido na Europa na década de 1990, é o oriundo da Escala de Manchester ou Sistema de Triagem de Manchester (Quadro 1).

Quadro 1. Sistema de triagem de Manchester.

Classificação	Cor	Tempo de Espera (min)
Não urgente	Azul	240
Pouco urgente	Verde	120
Urgente	Amarelo	60
Muito urgente	Laranja	10
Emergência	Vermelho	0

Trata-se de um método de triagem em hospitais ou pronto-atendimentos reconhecido internacionalmente que, segundo Cronin (2003), é confiável e profissionalmente avaliado, contando com cinco níveis de urgência associado a cinco diferentes cores e tempos de espera para os pacientes.

3.3.6 Desenvolvimento de indicadores ergonômicos na área florestal

Para construir indicadores ergonômicos, um determinado dado pode ser baseado em “um valor quantitativo referente a um fato ou circunstância”, um “número bruto que ainda não sofreu qualquer espécie de tratamento estatístico” (BRASIL, 2005). Para que tais dados tenham relevância e consigam efetivamente oferecer informações a respeito de algo, é necessário que passem por um procedimento mais refinado de sistematização. Um dado, por si só, não insinua muita coisa sobre um determinado fenômeno (BRASIL, 2011).

Para facilitar o entendimento de determinados dados, pode ser utilizado um indicador (oriundo do latim *indicare* e significa descobrir, apontar, anunciar, estimar),

que informa sobre o progresso em direção a uma determinada meta ou valor, sendo utilizado como solução para tornar mais perceptível uma tendência ou fenômeno não imediatamente detectável nos dados brutos isolados (BELLEN, 2005).

Ao estudar diversas ferramentas e máquinas de colheita da madeira, desde os diferentes tipos de motosserras até *feller buncher*, *skidder*, *harvesters* e *forwarders*, Gerasimov e Sokolov (2014) propuseram uma forma de avaliação integrada por meio do indicador denominado de “Taxa de Severidade do Trabalho”. Primeiramente, deve ser calculado o grau de conformidade da avaliação ergonômica com as normas preestabelecidas, de acordo com Frumkin *et al.* (1999), de forma a ser obtido um valor entre 0 e 1 para cada uma delas, no qual 1 significaria perfeita adequação às normas, e quanto mais se afastasse em direção a 0, pior seria a condição.

Outra proposta de avaliação integrada foi a de Marzano *et al.* (2017), na qual os pesquisadores propuseram “Índice de Conformidade Ergonômica” (ICE). Neste método, primeiro devem ser calculados os Índices de Conformidade Ergonômica Parciais por meio da fórmula:

$$ECIp = 1 - (NC \times NCW)$$

onde: ECIp = Índice de Conformidade Ergonômica Parcial; NC = valor de não conformidade atribuído; e NCW = peso de não conformidade.

Em seguida, calcula-se o Índice de Conformidade Ergonômica por meio da média aritmética de todos os dados parciais calculados. Uma comparação dos aspectos ergonômicos das máquinas florestais pode ser feita pela determinação do ECI de cada máquina e, de acordo com o método proposto, máquinas com maior ECI são superiores do ponto de vista ergonômico (MARZANO *et al.*, 2017).

Entretanto, cabe ressaltar que, tanto Gerasimov e Sokolov (2014) como Marzano *et al.* (2017) utilizaram, total ou parcialmente, inferências qualitativas e subjetivas em suas avaliações. De um lado, Gerasimov e Sokolov (2014), além de medições *in loco*, aplicaram questionários aos operadores com temas relacionados à interação homem-máquina, engenharia da máquina, intensidade do trabalho, conforto, capacitação e *design*, utilizando tais resultados nos cálculos da Taxa de Severidade. De outro, Marzano *et al.* (2017) utilizaram parâmetros qualitativos na

forma de *checklist* para as variáveis ambiente térmico e qualidade do ar. Em ambos os casos, houve utilização de aspectos qualitativos, além de exclusivamente os quantitativos.

3.3.7 Ergonomia e produtividade: um sistema sustentável

O objetivo da ergonomia é otimizar, em primeiro lugar, o conforto do trabalhador, bem como preservar a sua saúde, segurança e eficiência (NIU, 2010), levando em consideração que a peculiaridade da boa ergonomia não está nos seus instrumentos de coleta de campo, mas sim, no detalhamento, na profundidade e no olhar sobre o trabalho (SALERNO, 2000). Já o termo produtividade pode ser usado para avaliar ou medir a amplitude em que uma determinada saída (*output*) pode ser produzida a partir de uma determinada entrada (*input*) (KANAWATY, 1992). Ao se interligar ambos os conceitos, há uma tendência em ergonomia que defende o seu equilíbrio com as exigências de produção para alcançar um sistema sustentável (HENDRICK, 1997; DUL e NEUMANN, 2009; THUN *et al.*, 2011; GUIMARÃES *et al.*, 2015).

Entretanto, os estudos empíricos raramente relacionam de forma explícita as práticas e os princípios da ergonomia com a gestão da produção, apesar da forte relação entre ambas as disciplinas. Isto é importante, pois impactos positivos de intervenções na organização do trabalho podem advir de ergonomia e ações produtivas orientadas, ao invés de iniciativas isoladas (GUIMARÃES *et al.*, 2015).

A produtividade do trabalhador sempre foi determinada em função de estudos de tempos e movimentos, das variáveis operacionais de influência e de medidas da produção (STANTON *et al.*, 2004; VISSER e SPINELLI, 2012). Uma produtividade humanamente sustentável deve levar em consideração as limitações físicas e mentais dos trabalhadores (SOUZA *et al.*, 2012).

Com o auxílio da ergonomia, pode-se melhorar o desempenho do trabalho, aumentando-se a qualidade e a produtividade, com conseqüente redução dos custos de produção (DUL e WEERDMEESTER, 2012). Sendo assim, alguns estudos têm sido desenvolvidos no sentido de buscar relacionar as condições ergonômicas com a produtividade (SOUZA *et al.*, 2012; GUIMARÃES *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2015).

Outro problema é que os gestores geralmente associam a ergonomia apenas com a saúde e a segurança ocupacional para o cumprimento da legislação, sem associá-la com o desempenho do negócio. Em face disto, os gestores não são motivados a aplicar a ergonomia somente por motivos de melhoria da saúde e segurança (DUL e NEUMANN, 2009).

Ao terem utilizado a ergonomia participativa para modificar o sistema de trabalho em uma fábrica de móveis no Rio Grande do Sul, Guimarães *et al.* (2015) identificaram que o modelo funcional existente na organização do trabalho era estressante e cansativo, e modificaram o sistema conseguindo ganhos tanto ergonômicos como produtivos, confirmando que os objetivos ergonômicos e de produção são compatíveis, sendo possível a obtenção de um projeto sustentável.

3.4 Análises de agrupamento e fatorial

3.4.1 Análise de agrupamento

Denomina-se de “classificação” o processo pelo qual se pode agrupar objetos similares em classes identificáveis e interpretáveis e que podem ser distinguidas das classes vizinhas, conforme citação de Gotelli e Ellison (2011).

O tipo mais utilizado de análise de classificação é a análise de agrupamentos (*cluster analysis*), que utiliza m observações, das quais cada uma é associada com n variáveis numéricas e separa as observações em grupos. Tal análise pode ser utilizada para agrupamentos de itens conforme a sua similaridade.

Dentre os métodos disponíveis para agrupamento de dados, dois modelos muito utilizados são o aglomerativo e o divisivo. Enquanto o primeiro toma várias observações separadas e as reúne em agrupamentos cada vez maiores até que apenas um seja obtido, o segundo, por outro lado, coloca todas as observações em um grupo e depois as divide sucessivamente até que cada uma esteja em seu próprio agrupamento. Entretanto, para ambos os métodos, deve ser escolhido um critério, que muitas vezes pode ser estatístico, sobre quantos agrupamentos usar para melhor descrever os dados.

Os métodos aglomerativos, detalhados neste item, iniciam-se com uma matriz quadrada $m \times m$ de distâncias, na qual os valores são as distâncias par-a-par medidas para cada par de dados (Tabela 9).

Tabela 9. Matriz de distâncias utilizadas em análises de agrupamento de dados.

Variáveis	A	B	C	D	E	F
A	0					
B	d_{BA}	0				
C	d_{CA}	d_{CB}	0			
D	d_{DA}	d_{DB}	d_{DC}	0		
E	d_{EA}	d_{EB}	d_{EC}	d_{ED}	0	
F	d_{FA}	d_{FB}	d_{FC}	d_{FD}	d_{FE}	0

d = distância. Como as matrizes de distância são simétricas, é apresentada apenas a metade inferior.

A distância euclidiana é a mais simples de ser utilizada. Trata-se da distância geométrica no espaço multidimensional, baseada no teorema de Pitágoras ($a^2 + b^2 = c^2$, onde a e b são os catetos e c a hipotenusa de um triângulo-retângulo), e está representada na Figura 5 para uma dada situação bidimensional e outra tridimensional. Todavia, qualquer medida de distância (Manhattan, Corda, Mahalanobis, Chi-quadrado, Bray-Curtis, Jaccard, Sørensen) pode ser usada na análise de agrupamentos.

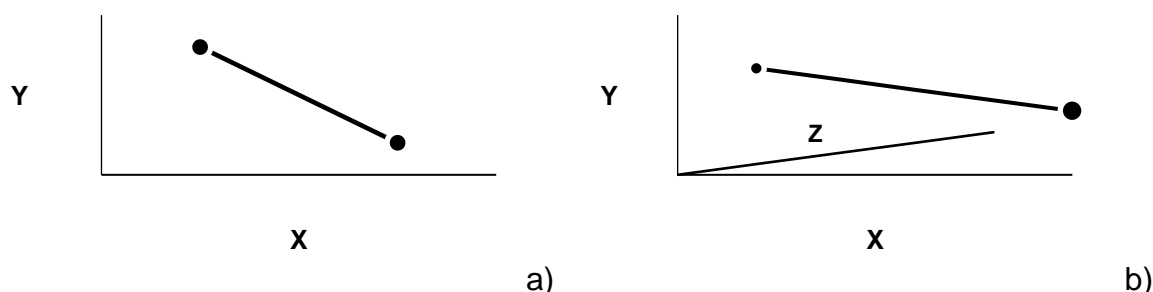


Figura 5. A distância euclidiana em duas dimensões é aquela em linha reta entre os pontos (a). Quando outro eixo é adicionado, deve ser considerada a distância em linha reta observando mais dimensões (b).

Entretanto, para que a análise não favoreça nem prejudique nenhuma variável, torna-se necessária a sua padronização, de forma a tomarem caráter adimensional. Normalmente, utiliza-se o desvio do valor em relação à média, dividido pelo desvio padrão.

Após a análise par-a-par, quanto mais próximo um valor for de outro, significa que eles pertencem a um mesmo grupo. Estes agrupamentos devem formar, então,

a linha de baixo de um dendrograma (diagrama de árvore), exemplificado na Figura 6.

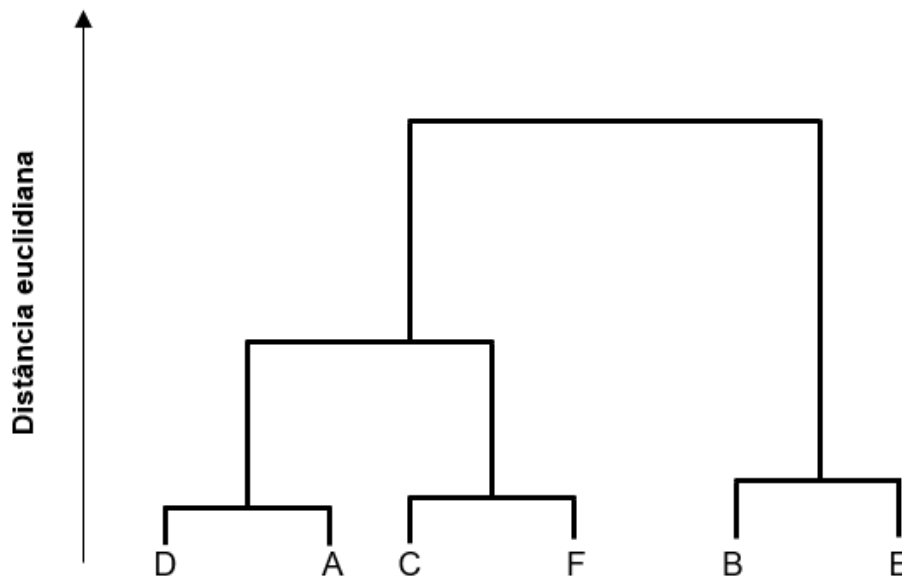


Figura 6. Exemplificação de resultado de uma análise de agrupamentos aglomerativos. No eixo X são dispostos os tratamentos A, B, C, D, E e F agrupados com base em sua similaridade e, no Y, é indicada a distância euclidiana na qual eles são ligados aos grupos de níveis superiores.

Este tipo de classificação onde as observações de grupos menores formam um grupo maior capaz de incluir as dos menores são chamados de métodos de agrupamento hierárquicos. Tanto os aglomerativos como os divisivos podem ser hierárquicos.

3.4.2 Análise fatorial

Uma das formas mais utilizadas para ordenar os dados é a análise de componentes principais (*Principal Component Analysis – PCA*), que possui seu uso básico na redução da dimensionalidade de dados multivariados, de forma a criar algumas poucas variáveis-chave, onde cada uma é composta de muitas das variáveis originais. A análise fatorial e a PCA possuem um objetivo comum, que é reduzir muitas para poucas variáveis. Foi utilizada para esta revisão a literatura de Gotelli e Ellison (2011).

Enquanto a PCA cria novas variáveis como combinações lineares das originais, a análise fatorial considera cada uma das variáveis originais como uma

combinação linear de alguns “fatores” implícitos. A análise toma como base a fórmula:

$$Y_j = a_{i1} F_1 + a_{i2} F_2 + \dots + a_{in} F_n + e_j$$

onde: Y = variáveis; a = carga (peso) do fator; F = fatores comuns; e e = fatores específicos de cada variável.

Uma das maneiras de agregar um conjunto de indicadores e facilitar sua comunicabilidade em virtude do grande número de dados e informações disponíveis é a construção de outras formas de obter medidas-síntese, como os indicadores integrados (compostos) ou índices. Os índices são elaborados mediante a agregação de dois ou mais indicadores simples, referidos a uma mesma dimensão, ou a diferentes dimensões, da realidade (JANNUZZI, 2004). Enquanto o indicador procura evidenciar um fenômeno, o índice tenta sinalizar por meio de um valor (medida-síntese) tanto uma relação de contiguidade com o representado quanto a evolução de uma quantidade em relação a uma referência (BRASIL, 2011).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1.1 Área de estudo

Esta pesquisa foi realizada em duas frentes operacionais de colheita da madeira de uma empresa florestal localizada no estado do Paraná. A primeira era composta por máquinas no sistema de árvores inteiras (*full tree*), no município de Curiúva, enquanto a segunda era composta por máquinas no sistema de toras curtas (*cut to length*), no município de Arapoti. Os municípios e a localização das áreas de estudo estão mostrados na Figura 7.




Figura 7. Localização geográfica da área de estudo.

O povoamento florestal foi composto pela espécie *Eucalyptus grandis* e híbridos de *Eucalyptus urophylla* x *E. grandis* com 8 anos de idade, plantados em terrenos de relevo suave ondulado (declividade de 3 a 8%) com espaçamento de 3 x 2 m e volume médio individual (VMI) das árvores de 0,4 m³. Os sortimentos de toras produzidos foram: 2,40 de comprimento e 15 a 17 cm de diâmetro; 2,60 m de comprimento e entre 18 e 22 cm de diâmetro; e 2,55 m de comprimento e mais de 22 cm de diâmetro.

4.1.2 Operações estudadas

O estudo foi realizado em máquinas de colheita da madeira nos sistemas de árvores inteiras (*full tree*) e toras curtas (*cut to length – CTL*), que operaram em regime de corte raso. As características das máquinas estão apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2. Características das máquinas de colheita da madeira.

Sistema	Máquina	Operação	Características Técnicas
	 <i>Feller buncher</i> de esteiras	Derrubada	Dimensões CxLxA (m): 5,3x3,4x3,7 Potência do motor (kW): 3.224 Acoplamento da lança: lateral Implemento: cabeçote acumulador Vida útil (h): 15.000
<i>Full tree</i>	 <i>Skidder</i> de pneus (6x6)	Extração	Dimensões CxLxA (m): 9,3x3,3x3,6 Potência do motor (kW): 194 Acoplamento da lança: frontal Implemento: pinça Vida útil (h): 25.000
	 Processador de esteiras	Processamento	Dimensões CxLxA (m): 5,1x3,7x3,1 Potência do motor (kW): 119 Acoplamento da lança: lateral Implemento: cabeçote processador Vida útil (h): 18.000
	 <i>Harvester A</i> de pneus (6x6)	Corte	Dimensões CxLxA (m): 7,6x2,9x3,9 Potência do motor (kW): 193 Acoplamento da lança: lateral Implemento: cabeçote processador Vida útil (h): 13.000
<i>CTL</i>	 <i>Harvester B</i> de pneus (8x8)		Dimensões CxLxA (m): 7,9x2,9x3,9 Potência do motor (kW): 200 Acoplamento da lança: frontal Implemento: cabeçote processador Vida útil (h): 3.500
	 <i>Forwarder</i> de pneus (8x8)	Extração	Dimensões CxLxA (m): 10,8x3,1x4,0 Potência do motor (kW): 200 Acoplamento da lança: frontal Implemento: garra Vida útil (h): 11.000

C = comprimento; L = largura; e A = altura. Fontes: Catálogos das máquinas.

No sistema de *full tree* foram avaliadas as operações de um *feller buncher*, que realizava a derrubada das árvores e formação de feixes no interior do talhão, extração com um *skidder*, que realizava o arraste dos feixes de árvores do interior do talhão à beira da estrada, e processamento da madeira com um processador florestal, que realizava o destopamento, o desgalhamento e o processamento individual em toras de cada árvore arrastada à beira da estrada. No CTL, avaliou-se as operações de dois diferentes modelos de *harvesters*, que realizavam a derrubada, o destopamento, o desgalhamento e o processamento individual de cada árvore no interior do talhão, e a extração com um *forwarder*, que realizava o baldeio das toras do interior do talhão à beira da estrada.

4.1.3 Caracterização da amostra e da análise estatística

A amostra foi composta por operadores devidamente treinados e experientes nas operações de colheita da madeira, que foram caracterizados quanto a idade, peso, estatura, tempo na função e outras variáveis por meio da aplicação de um questionário sobre fatores humanos e condições de trabalho. Foram avaliados quatro operadores de cada máquina trabalhando nos turnos diurno e noturno, sendo as médias de algumas características apresentadas na Tabela 10.

Tabela 10. Características médias dos trabalhadores das máquinas de colheita.

Máquina	Idade (anos)	Estatura (m)	Massa Corpórea (kg)	Ensino Médio Completo (%)	Origem urbana (%)	Destros (%)	Tempo de Empresa (anos)	Tempo de Função (anos)
<i>Feller buncher</i>	39,0 ± 13,1	1,75 ± 0,1	89,7 ± 12,3	100	75	100	15,0 ± 13,0	8,7 ± 6,7
<i>Skidder</i>	48,3 ± 10,5	1,70 ± 0,1	92,0 ± 10,0	75	50	100	15,0 ± 8,0	8,7 ± 2,1
Processador	34,5 ± 2,1	1,77 ± 0,1	85,0 ± 25,5	50	50	100	5,6 ± 5,4	5,1 ± 3,3
<i>Harvester A</i>	38,7 ± 6,4	1,75 ± 0,1	79,0 ± 5,7	100	50	100	1,5 ± 0,4	5,5 ± 0,7
<i>Harvester B</i>	38,0 ± 2,6	1,67 ± 0,1	76,3 ± 5,9	50	75	75	10,8 ± 8,3	6,4 ± 6,0
<i>Forwarder</i>	40,3 ± 10,7	1,66 ± 0,1	87,0 ± 27,1	50	50	100	13,0 ± 9,0	13,0 ± 9

Por envolver seres humanos, a pesquisa foi submetida à análise do Comitê de Ética em Pesquisa (COMEP) da Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), que foi aprovada sob o parecer número 2.451.557 (Anexo 1). A participação dos operadores no estudo se deu de forma voluntária, onde todos

receberam esclarecimentos sobre os objetivos e o método empregado, por meio da leitura e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), em atendimento à Resolução nº 196/1996 da Comissão Nacional de Ética em Pesquisa - CONEP do Ministério da Saúde.

Inicialmente foi realizado um estudo piloto para obtenção da intensidade amostral, ou seja, o número mínimo de repetições (média dos valores amostrados para duas horas de coleta de dados) necessárias para avaliação de cada variável ergonômica ao nível de 95% de probabilidade de acerto e erro relativo de 10%, por meio do uso da fórmula proposta por Barnes (1977).

$$n \geq \frac{t^2 \times CV^2}{E^2}$$

Em que: n = número mínimo de repetições (amostras) necessárias; t = valor de t, para o nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade; CV = coeficiente de variação, em porcentagem; e E = erro admissível, em porcentagem.

Foram testados dois tratamentos com 12 repetições (médias das amostras de 2 horas) para cada máquina de colheita da madeira. Os tratamentos, apresentados na Tabela 1.11, representam os períodos diurno e noturno de realização da respectiva operação, de forma a estudar o comportamento das variáveis ergonômicas nestes diferentes turnos de trabalho.

Tabela 11. Tratamentos resultantes dos períodos de trabalho nas operações de colheita da madeira.

Tratamento	Repetições											
Turno diurno (8 às 12h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Turno noturno (20 às 0h)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Os resultados foram submetidos ao teste de normalidade pelo Kolmogorov-Smirnov e à análise de variância por meio do teste de F. As médias foram comparadas pelo teste t ao nível de 5% de probabilidade de erro.

4.1.4 Coleta de dados

As variáveis ergonômicas coletadas foram vibração do corpo inteiro, ruído, exposição ao calor, iluminância, repetitividade, posturas e ângulos de visibilidade. Todas elas foram coletadas com as máquinas em situação real de trabalho, tanto no período diurno (8h às 12h) quanto no período noturno (20h às 00h).

A instalação dos instrumentos de coleta está esquematizada na Figura 8, ressaltando que as variáveis ergonômicas coletadas foram obtidas de forma simultânea, ou seja, nas mesmas condições de trabalho.

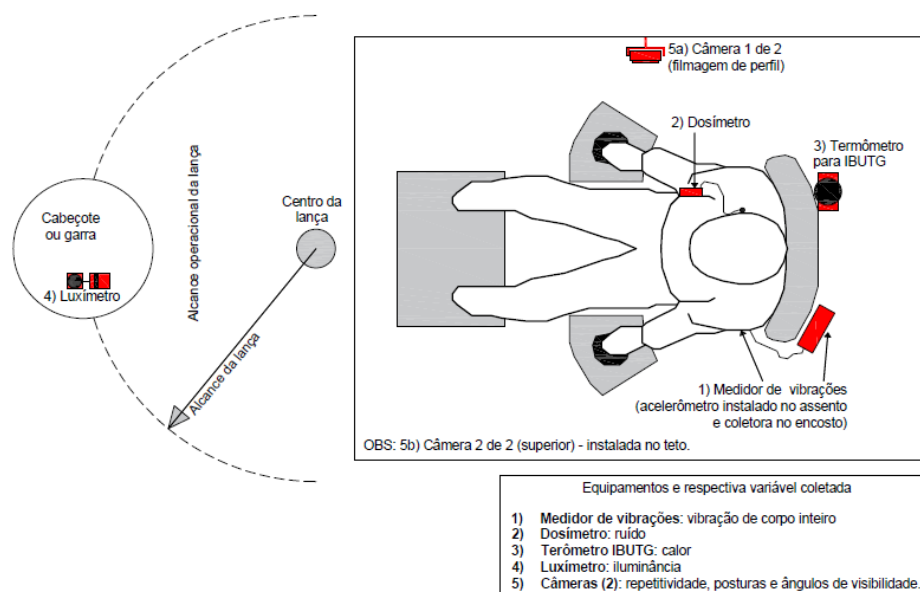


Figura 8. Esquema da localização dos instrumentos para coleta das variáveis ergonômicas.

As vibrações ocupacionais de corpo inteiro foram coletadas com uso de um medidor de vibração de corpo inteiro instalado nos assentos das máquinas, o ruído com o uso de um dosímetro acoplado na zona auditiva dos operadores, a exposição ao calor por meio de um termômetro de globo instalado no interior das cabines das máquinas, a iluminância por meio de um luxímetro instalado próximo aos implementos e a repetitividade, as posturas e os ângulos de visibilidade por meio de imagens obtidas por duas câmeras instaladas no interior das cabines, uma voltada para o trabalhador de perfil e outra na parte superior.

CAPÍTULO I

AVALIAÇÃO DE VARIÁVEIS ERGONÔMICAS EM MÁQUINAS DE COLHEITA DA MADEIRA

RESUMO: Apesar da modernidade e das novas tecnologias empregadas nas máquinas de colheita da madeira, novas preocupações surgiram, como os elevados níveis de vibração e ruído, as posturas inadequadas, os movimentos repetitivos e as dificuldades de visibilidade, podendo estas variáveis ergonômicas causar danos à saúde dos operadores florestais. Objetivou-se avaliar as variáveis ergonômicas nas operações de colheita da madeira mecanizada nos períodos turnos diurno e noturno. A pesquisa foi conduzida em uma empresa florestal, tendo sido avaliados um *feller buncher*, um *skidder*, um processador florestal, dois modelos diferentes de *harvesters* e um *forwarder*. Foram coletados os níveis de vibração ocupacional de corpo inteiro por um medidor de vibração instalado nos assentos das máquinas, o nível de ruído com uso de um dosímetro acoplado, a exposição ao calor por meio de um termômetro de globo, a iluminância com o uso de um luxímetro, as posturas, a repetitividade e os ângulos de visibilidade por meio de imagens obtidas em câmeras instaladas no interior das cabines das máquinas. Os resultados mostraram que apesar de todas as máquinas terem apresentado nível de vibração acima do limite máximo aceitável (aren $0,5 \text{ m/s}^2$ e VDVR $21 \text{ m/s}^{1,75}$) em pelo menos um dos turnos estudados, os maiores valores ocorreram no *skidder* ($1,62 \text{ m/s}^2$ com $28,71 \text{ m/s}^{1,75}$ e $1,23 \text{ m/s}^2$ com $22,11 \text{ m/s}^{1,75}$ de aren e dose, para ambos os turnos, respectivamente) e no *forwarder* ($0,87$ e $0,80 \text{ m/s}^2$ e $19,02$ e $19,06 \text{ m/s}^{1,75}$ de aren e dose para ambos os turnos, respectivamente), causados pelo deslocamento das máquinas no talhão. Os maiores valores de ruído foram verificados no *skidder* (89 e 87 dB (A) para ambos os turnos), sendo a única máquina que ultrapassou o limite de exposição de 85 dB(A), possivelmente pela maior vida útil. Na avaliação da repetitividade, o processador florestal foi a única máquina que, em ambos os turnos, ultrapassou o limite de incerteza (SI 5) e que se aproximou da zona de alto risco de lesão (SI 7), com SI 6,5 e 6,75 para ambos os turnos, com maior possibilidade da ocorrência de disfunções músculo tendinosas nos membros superiores. Nenhuma das máquinas apresentou problemas de angulação no plano sagital, porém as máquinas de extração apresentaram valores acima do limite máximo de 30 graus, comprometendo a visibilidade no plano lateral, fazendo com o que operador girasse de forma excessiva a cabeça para melhor visualização da região de trabalho. Nenhuma das máquinas estudadas apresentou 100% de conformidade em todas as avaliações.

Palavras-chave: Ergonomia, máquinas florestais, saúde, segurança ocupacional.

ABSTRACT: *In spite of the modernity and new technologies used in wood harvesting machines, new concerns have arisen, such as high levels of vibration and noise, inadequate postures, repetitive movements and visibility difficulties, and these ergonomic variables can cause harm to the health of forest operators. The objective of this study was to evaluate ergonomic variables in the mechanized wood harvesting operations in the day and night shifts. The research was conducted in a forest company, having evaluated a feller buncher, a skidder, a forest processor, two different models of harvesters and a forwarder. Whole-body occupational vibration levels were collected by a vibration meter installed in the seats of the machines, the noise level with the use of a coupled dosimeter, the exposure to heat by a globe thermometer, the illuminance with the use of a luximeter, postures, repeatability and angles of visibility by images obtained in cameras installed inside the cabins of the machines. The results showed that although all the machines had vibration level above the acceptable maximum limit (aren $0,5 \text{ m/s}^2$ and VDVR $21 \text{ m/s}^{1,75}$) in at least one of the shifts studied, the highest values occurred in the skidder ($1,62 \text{ m/s}^2$ with $28,71 \text{ m/s}^{1,75}$ and $1,23 \text{ m/s}^2$ with $22,11 \text{ m/s}^{1,75}$ for both shifts, respectively) and in the forwarder ($0,87$ and $0,80 \text{ m/s}^2$ and $19,02$ and $19,06 \text{ m/s}^{1,75}$ aren and dose for both shifts, respectively), caused by the machines moving around the stand. The highest noise values were verified in the skidder (89 and 87 dB (A) for both shifts), the only machine that exceeded the exposure limit of 85 dB (A) , possibly due to the longer machine life. In the evaluation of the repetitiveness, the forest processor was the only machine that, in both shifts, exceeded the uncertainty limit (SI 5) and approached the zone of high risk of injury (SI 7), with SI 6,5 and 6,75 for both shifts, with greater possibility of occurrence of tendon muscle dysfunctions in the upper limbs. None of the machines presented angulation problems in the sagittal plane, but the extraction machines presented values above the maximum limit of 30 degrees, compromising the visibility in the lateral plane, compelling the operator to overturn the head for a better visualization of the task region. None of the machines studied showed 100% compliance in all evaluations.*

Keywords: *Ergonomics, forest machines, health, occupational safety.*

1 INTRODUÇÃO

O setor de florestas plantadas possui grande importância para a sociedade brasileira, sendo responsável pelo fornecimento de matéria prima destinada à produção de uma grande variedade de produtos da madeira, além de contribuir na geração de empregos e renda e na sustentabilidade ambiental. Em sua cadeia produtiva, a colheita da madeira é uma fase onerosa, influenciada por fatores técnicos, ambientais, sociais e ergonômicos que interferem diretamente nos custos e na configuração das operações.

O aumento da mecanização nas operações de colheita da madeira acarretou em mudanças nas condições de trabalho, com alterações nas cargas físicas advindas da interação entre o homem e o sistema produtivo, causando, principalmente, aumento da carga psíquica. A introdução de máquinas modernas, de elevada tecnologia e com capacidades produtivas muito superiores ao ser humano foram um marco global ao setor de florestas plantadas desde a última década, quando houve a substituição em larga escala dos métodos semimecanizados pelos mecanizados.

Devido a estas significativas mudanças laborais, houve impacto na forma de gestão e execução do trabalho, com evidente necessidade de muitos profissionais da área florestal aprenderem a trabalhar com os novos sistemas mecanizados (BAYNE e PARKER, 2012). Neste sentido, os fabricantes têm trabalhado na busca por melhorias nos projetos ergonômicos das máquinas e equipamentos florestais, como adequação dos postos de trabalho, climatização da cabine, melhorias na visibilidade, redução dos níveis de ruído e vibração, redução do esforço físico e de acidentes ocupacionais (GERASIMOV e SOKOLOV, 2009). Na busca pela adaptação do trabalho ao homem, a avaliação ergonômica necessita ser utilizada de forma estratégica na tomada de decisão para a aquisição de máquinas florestais eficientes do ponto de vista ergonômico (SILVA *et al.*, 2003) e, de preferência, com uso da ergonomia participativa, em que o trabalhador contribui durante a avaliação ergonômica (GUIMARÃES *et al.*, 2015).

Apesar dos avanços já citados, surgiram novas preocupações no desenvolvimento do trabalho da colheita de madeira mecanizada, pelo fato do operador permanecer por longos períodos de tempo na posição sentada, e adotando, muitas vezes, posturas ergonomicamente inadequadas e realizando

movimentos repetitivos, além de executar o trabalho com condições ambientais desfavoráveis em relação a elevados níveis de vibrações e ruído, causados, principalmente, pelas condições operacionais inadequadas (LIMA *et al.*, 2005; FERNANDES *et al.*, 2011; GERASIMOV e SOLOKOV, 2014). Por isso, a ergonomia como ciência aplicada poderá contribuir na busca por melhorias nas condições laborais em termos de conforto, bem-estar, segurança e saúde dos operadores de máquinas de colheita da madeira no seu relacionamento com os sistemas produtivos.

Sendo assim, objetivou-se avaliar as variáveis ergonômicas nas operações de colheita da madeira mecanizada em diferentes turnos de trabalho, com vistas a identificar problemas e propor soluções ergonômicas para a melhoria das condições de trabalho.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Vibração de corpo inteiro

A avaliação da exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro (VCI) foi realizada conforme o método da Norma de Higiene Ocupacional NHO 09, proposto pela Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho (FUNDACENTRO, 2013), indicada pela Norma Regulamentadora (NR) 15 - Atividades e Operações Insalubres, em seu Anexo nº 8: Vibração (Redação dada pela Portaria Ministério do Trabalho e Emprego - MTE, n.º 1.297, de 13 de agosto de 2014).

Os valores de aceleração foram obtidos por meio de um medidor de vibração de corpo inteiro da marca *Brüel & Kjær*, modelo *Type 4444*, com acelerômetro triaxial (eixos x, y e z) instalado no assento da máquina por um *seatpad* (Figura 9).



Figura 9. Localização do *seatpad* fixado no assento da máquina para a coleta da vibração de corpo inteiro.

A análise dos dados determinou a vibração média por meio da aceleração resultante à exposição normalizada (aren m/s^2) e o valor da dose de vibração resultante ($\text{VDVR m/s}^{1,75}$) para 8 horas. Estes parâmetros são representativos da exposição diária do trabalhador e normatizados pela Fundacentro (2013). Para a realização da comparação dos dados de VCI obtidos com o limite de exposição ocupacional ou com o nível de ação, independentemente da duração da jornada de trabalho, os parâmetros são expressos pelas seguintes fórmulas:

$$aren = are \times \sqrt{\frac{T}{T_0}}$$

onde: *aren* = aceleração resultante à exposição normalizada (m/s²); *are* = aceleração resultante da exposição, representativa da exposição ocupacional diária (m/s²); *T* = tempo de duração da jornada diária de trabalho expresso em horas ou minutos; e *T*₀ = 8 horas ou 480 minutos.

$$VDVR = \left[\sum_j (VDV \times exp_j)^4 \right]^{1/4}$$

onde: *VDV exp_j* = Valor de Dose de Vibração da exposição representativo da exposição ocupacional diária no eixo “j”, sendo “j” igual a “x”, “y” ou “z” (m/s^{1,75}).

Finalizado o processamento dos dados, os resultados foram confrontados com o limite de exposição ou o nível de ação definidos pela NHO 09 para uma exposição de 8 horas diárias. A avaliação foi feita de acordo com o Quadro 3.

Quadro 3. Limites de exposição à vibração de corpo inteiro de acordo com a NHO09.

aren (m/s²)	VDVR (m/s^{1,75})	Consideração Técnica	Atuação Recomendada
0 a 0,5	0 a 9,1	Aceitável	No mínimo manutenção da condição existente.
0,5 a 0,9	9,1 a 16,4	Acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas.
0,9 a 1,1	16,4 a 21	Região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando a redução da dose diária.
Acima de 1,1	Acima de 21	Acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas.

aren = aceleração resultante à exposição normalizada (m/s²); *VDVR* = Valor da Dose de Vibração Resultante. Fonte: Fundacentro (2013).

2.2 Ruído

O ruído foi medido com o uso de um dosímetro da marca Instrutherm, modelo DOS-500, instalado na zona auditiva do operador (Figura 10) para obtenção do

nível médio de ruído obtido durante o trabalho. A exposição foi convertida para uma jornada de 8 horas e avaliada de acordo com o Anexo 1 da NR 15 (BRASIL, 1978b).



Figura 10. Localização do dosímetro de ruído: a) microfone; e b) coletora.

As leituras foram realizadas próximas ao ouvido do trabalhador e os níveis de ruído foram medidos em decibéis (dB), com instrumento de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação "A" e circuito de resposta lenta. A coleta foi realizada durante a execução normal do trabalho, com a cabine fechada, ar condicionado e rádio de comunicação ligados e com as acelerações das máquinas em condições normais de trabalho. Não foi permitido o uso de aparelhos musicais para que não interferissem na avaliação dos parâmetros da máquina e da operação.

As doses de ruído recebidas por cada operador foram mensuradas por meio da leitura do valor apresentado pelo instrumento de medição, posteriormente utilizadas no cálculo da determinação do Nível Médio (L_{avg}) de ruído referente ao tempo de medição, de acordo com a fórmula:

$$L_{avg} = 16,61 \times \log \left(\frac{D}{100} \times \frac{480}{T_m} \right) + 85$$

onde: L_{avg} (*average level*) = nível médio (dB); D = dose parcial de ruído referente à medição (%); e T_m = Tempo de medição (min).

Para comparação com os limites de exposição, o nível médio de ruído foi convertido para a jornada de oito horas, para fins de determinação de nível médio ou dose de exposição. Para tal, foi calculado o Nível de Exposição Normalizado (NEN), de acordo com a fórmula:

$$NEN = L_{avg} + 16,61 \times \log \left(\frac{T_e}{480} \right)$$

onde: NEN = Nível de Exposição Normalizado (dB); Lavg = nível médio; e Te = Tempo de exposição.

Para a avaliação foram considerados o limite máximo permissível de 85 dB (A) para um trabalho de 8 horas sem utilização de protetor auditivo, considerado como 100% da dose diária (NR 15), o valor para o nível de ação (prevenção) de 80 dB (A), ou seja, 50% da dose diária (NR 09) e o limite para conforto de 65 dB (A) visto que eram atividades que necessitavam de solicitação intelectual e atenção constantes (NR 17).

2.3 Exposição ao calor

Todas as máquinas avaliadas possuíam comando regulável de temperatura interna, ar condicionado com diferentes velocidades, termostato e sistema automático de controle de temperatura ambiente com fácil operação. Tais características são desejáveis em qualquer máquina de colheita da madeira para o maior conforto térmico, estando de acordo com outros estudos (MINETTE *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2003)

Para a avaliação da exposição ocupacional dos trabalhadores ao calor foi utilizado o Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo (IBUTG), obtido por meio de um Medidor de *Stress* Térmico (Termômetro de Globo) Digital com *datalogger*, modelo TGD-1800, instalado no interior das cabines das máquinas. Os valores médios foram relacionados com os limites determinados na NR 15 (Brasil, 1978b).

O instrumento de medição foi fixado na lateral do encosto do assento da máquina, à altura do peito dos operadores. O valor de IBUTG interno foi fornecido diretamente pelo aparelho, que armazenou os dados em intervalos de um minuto durante o período de coleta dos dados. As médias dos valores foram, então, extrapoladas para 8 horas e comparadas com os limites estabelecidos pela NR 15.

Para efeitos desta avaliação, a atividade de operador de máquinas de colheita da madeira foi considerada como leve pela NR 15, devido ao operador trabalhar sentado e realizar movimentos moderados com braços e pernas. Nesta situação, o limite máximo permitido para o IBUTG é de 30,0.

2.4 Iluminância

A iluminância foi medida com uso de um Luxímetro digital com *datalogger* modelo TES-1336A, com capacidade máxima de mensuração em 20.000 lux (Figura 11). As leituras foram realizadas na zona de trabalho, distante em um raio de 1 metro dos implementos, sendo então os dados médios comparadas conforme a orientação do Instituto de Pesquisas Florestais da Suécia (SKOGFORSK, 1999), que apresenta valores mais rigorosos e específicos do que a Norma Europeia EN 12464-2 (CEN, 2007).



Figura 11. Coleta de dados com o luxímetro no período noturno.

As leituras foram realizadas em um ponto 20 cm acima do nível do solo, de acordo com a orientação do Skogforsk (1999). Para esta avaliação foi considerada apenas a medição próxima ao implemento, com as médias dos dados confrontadas com o valor mínimo de 120 lux, visto ser o valor mais importante no momento da operação e a maior exigência do método.

2.5 Repetitividade

A avaliação de repetitividade foi realizada pelo *Strain Index* (SI) ou índice de esforço, conforme método proposto por Moore e Garg (1995), que é usada para a identificação e checagem dos riscos de LER/DORT em membros superiores distais (mãos). Para isso, foram necessárias filmagens dos trabalhadores durante a execução das operações de colheita da madeira, obtidas por meio de duas câmeras tipo DVR, marca ACTIA, equipadas com uma unidade gravadora com quatro canais instaladas no interior das cabines das máquinas (Figura 12). A primeira câmera foi

fixada na lateral, de modo a capturar a imagem do operador em perfil, e a segunda no teto da cabine, de modo a capturar a vista superior.



Figura 12. Localização das duas câmeras instaladas no interior da cabine.

Por meio das imagens obtidas para cada máquina de colheita de madeira, foi possível analisar os fatores:

- Fator Intensidade do Esforço (FIT): indicado com base na observação do pesquisador com o auxílio da escala de CR 10 de Borg;
- Fator Duração do Esforço (FDE): foi necessária a utilização das filmagens;
- Fator Frequência do Esforço (FFE): foi definido pela contagem do número de ações técnicas realizadas pelas mãos em cada ciclo de trabalho e posteriormente extrapolados por minuto;
- Fator Postura de Mão e Punho (FPMP): foram analisadas as posturas das mãos e punhos com base nas filmagens;
- Fator Ritmo de Trabalho (FRT): foi definido com base na observação das filmagens; e

- Fator Duração do Trabalho (FDT): foi definido pela duração da jornada de trabalho por meio de informações obtidas junto à empresa.

As avaliações de cada um dos seis fatores propostos pelo método foram realizadas com o auxílio do *software* Ergolândia 7.0. Após ter analisado os fatores intensidade, duração e frequência do esforço, postura da mão e do punho, ritmo e duração do trabalho, multiplicou-se o valor numérico para a obtenção do SI, de acordo com a fórmula:

$$SI = FIT \times FDE \times FFE \times FPMP \times FRT \times FDT$$

onde: SI = *Strain Index*; FIT = Fator Intensidade do Esforço; FDE = Fator Duração do Esforço; FFE = Fator Frequência do Esforço; FPMP = Fator Postura de Mão e Punho; FRT = Fator Ritmo de Trabalho; e FDT = Fator Duração do Trabalho.

Se tal indicador fosse menor que 3 significaria que o trabalho é seguro, com provável ausência de riscos de DORT. Entre 3 e 5 significaria que é incerto, com riscos de DORT eventuais. Entre 5 e 7 possuiria algum risco, com a tarefa associada a DORT. Acima de 7 indicaria atividade com alto risco de DORT.

2.6 Posturas

A avaliação postural foi realizada pelo método *Rapid Upper Limber Assessment* (RULA), desenvolvido por McAtamney e Corlett (1993), a partir das posturas típicas adotadas pelos operadores no trabalho. Foram utilizadas as filmagens das câmeras instaladas no interior das cabines, obtendo as imagens nos planos sagital e superior do trabalhador, bem como os tempos efetivos da adoção por parte dos operadores em cada postura típica.

Posteriormente à obtenção das filmagens, foram realizadas em laboratório a identificação e o “congelamento” das imagens nas posturas típicas com o uso do *software* MSShow. Tais imagens foram, então, avaliadas pelo método RULA com o uso do *software* Ergolândia 7.0.

Para o método RULA, foram obtidas as pontuações para cada segmento corpóreo dos grupos A (braços, antebraços, punhos e rotação dos punhos), mostrado na Figura 13 e B (pescoço, tronco e pernas) na Figura 14.




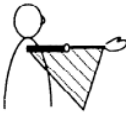
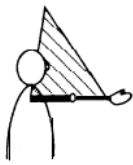
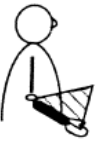



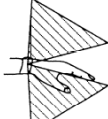
Escores	1	2	2	3	4	Ajustes
Braços	 20° de extensão a 20° de flexão	 > 20° de extensão	 20 a 45° de flexão	 > 45 a 90° de flexão	 ≥ 90° de flexão	+ 1 ombro elevado + 1 braço abduzido - 1 braço apoiado
Antebraços	 60 a 100° de flexão	 < 60° de flexão ou > 100° de flexão				+ 1 antebraço cruza o plano sagital + 1 antebraço rotacionado externo ao tronco
Punhos	 0° neutro ou meia inclinação de pronação ou supinação	 15° de flexão a 15° de extensão ou total pronação o supinação	 ≥ 15° de flexão ou extensão			+ 1 desvio ulnar ou radial

Figura 13. Escores dos segmentos corpóreos do grupo A no método RULA. Fonte: Adaptado de McAtamney e Corlett (1993).



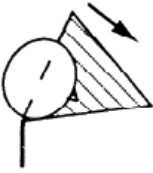
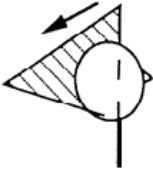


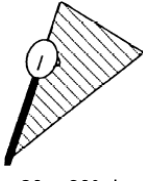
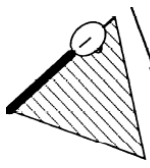
Escores	1	2	3	4	Ajustes
Pescoço	 0° a 10° de flexão	 10 a 20° de flexão	 > 20° de flexão	 em extensão	+ 1 pescoço torcido ou rotacionado + 1 pescoço inclinado lateralmente
Tronco	 0° ou bem apoiado quando sentado	 0 a 20° de flexão	 20 a 60° de flexão	 > 60° de flexão	+ 1 tronco torcido ou rotacionado + 1 tronco inclinado lateralmente
Pernas	pernas e pés bem apoiados e equilibrados	pernas e pés não estão corretamente apoiados e equilibrados			

Figura 14. Escores dos segmentos corpóreos do grupo B no método RULA. Fonte: Adaptado de McAtamney e Corlett (1993).

Cada fator avaliado recebeu uma pontuação, cujos resultados dos grupos A e B foram cruzados, adicionando pontuações referentes ao uso da musculatura, ou seja, se a postura era estática e mantida por um período superior a um minuto ou movimentos repetitivos com ocorrência superior a quatro minutos incluído, ainda, a carga de trabalho. O escore final para cada postura típica adotada pelo operador foi comparado com os níveis de ação definidos pelo método (Quadro 4).

Quadro 4. Diagnósticos do método RULA de acordo com o nível de ação.

Escore	Nível de Ação	Diagnóstico
1 ou 2	1	Postura aceitável se não for mantida ou repetida por longos períodos.
3 ou 4	2	Necessárias mais investigações e possível necessidade de mudanças.
5 ou 6	3	Necessárias investigações e mudanças rapidamente.
7 ou mais	4	Necessárias investigações e mudanças imediatas.

Fonte: Adaptado de McAtamney e Corlett (1993).

2.7 Ângulos de visibilidade

Para a avaliação dos ângulos de visibilidade nos postos de trabalho das máquinas foram utilizadas as câmeras nos espaços internos da cabine para obtenção dos movimentos horizontal e vertical da cabeça dos operadores durante o trabalho, sendo os dados comparados com o método proposto pelo *Skogforsk* (1999). Para a medição dos ângulos, as imagens foram “congeladas” e inseridas no *software* Autodesk® AutoCAD® 2016 versão educacional, com os ângulos medidos diretamente pela ferramenta do programa (Figura 15).



Figura 15. Medição das angulações nos planos sagital e superior.

Para esta avaliação foram calculadas as médias das angulações no plano sagital e superior durante o tempo efetivo dos ciclos operacionais. Os ângulos ideais e máximos dos movimentos da cabeça e do pescoço durante a realização do trabalho estão mostrados na Tabela 12.

Tabela 12. Limites máximos para angulação de cabeça e pescoço para avaliação dos ângulos de visibilidade.

Movimento de Cabeça/Pescoço	Ângulo Limite (graus)	
	Ideal	Máximo
Flexão	25	50
Extensão	5	40
Laterais	30	50

Fonte: Adaptado de Skogforsk (1999).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Vibração de corpo inteiro

Os valores médios de vibração em relação à aceleração média e à dose diária (8h) obtidos nas diferentes máquinas estudadas nos períodos diurno e noturno estão mostrados na Tabela 13. De acordo com a NHO 09, ambos os indicadores devem ser analisados em conjunto, principalmente quando há choques ou solavancos (balanços bruscos) na exposição do trabalhador, situações nas quais a dose adquire maior importância na análise (FUNDACENTRO, 2013).

Tabela 13. Vibração em relação à aceleração média e dose diária (8h) obtida nas máquinas dos sistemas.

Sistema	Máquina	Aceleração média aren (m/s ²)		p-valor	Dose de vibração (8 h) VDVR (m/s ^{1,75})		p-valor
		Diurno	Noturno		Diurno	Noturno	
			<i>Feller buncher</i>		0,68	0,77	
<i>Full tree</i>	<i>Skidder</i>	1,62	1,23	0,0002	28,71	22,11	0,0001
	Processador	0,47	0,55	0,0128	13,60	14,12	0,8096
<i>CTL</i>	<i>Harvester A</i>	0,91	0,68	0,0001	18,37	12,50	0,0001
	<i>Harvester B</i>	0,55	0,44	0,0006	12,15	10,06	0,0756
	<i>Forwarder</i>	0,87	0,80	0,1951	19,02	19,06	0,9774

Nível de significância de 5%.

O *feller buncher* apresentou os maiores valores de vibração durante o período da noite (aren 0,77 m/s² e VDVR 15,15 m/s^{1,75}) comparado ao período diurno (aren 0,68 m/s² e VDVR 13,07 m/s^{1,75}), com diferença estatística significativa. Devido à execução do trabalho nesta máquina, as vibrações podem ocorrer tanto pelo deslocamento da máquina quanto pelo uso do implemento no abate das árvores, mas os maiores valores no turno noturno podem ter sido originados devido à dificuldade de visualização e ao contato com obstáculos (galhos, tocos, acidentes naturais, etc.) no terreno durante o deslocamento.

O *skidder* foi, dentre todas as máquinas estudadas, aquela que apresentou os maiores valores de vibração, tanto em termos de aceleração quanto de dose

diária de exposição, em ambos os turnos, com 1,62 m/s² de aren e 28,71 m/s^{1,75} de VDVR para o período diurno e de 1,23 m/s² de aceleração média e 22,11 m/s^{1,75} de dose (8h) para o noturno, sendo, portanto, a máquina que ofereceu a pior condição no quesito exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro. Além disso, suas vibrações no período de trabalho diurno foram estatisticamente maiores que no trabalho noturno.

Ao estudar as vibrações de corpo inteiro de um *skidder* de mesmo porte e número de rodados, Almeida *et al.* (2015) verificaram aceleração média superior (1,95 m/s²) e dose diária inferior (7,01 m/s^{1,75}) ao obtido neste estudo. Nesta pesquisa, a aceleração média foi menos intensa, mas houve maior presença de choques e solavancos causados durante a operação, devido às condições de terreno, como presença de tocos e declividade ondulada, refletidos no elevado valor de dose calculada.

O processador florestal apresentou vibração média (aren) de 0,47 m/s² no turno diurno e de 0,55 m/s² no período noturno, com diferença estatística entre ambos. Em contrapartida, o VDVR foi de 13,60 m/s^{1,75} para o período diurno e 14,12 m/s^{1,75} para o noturno, sendo estatisticamente iguais pelo teste t, significando que ambos os períodos apresentaram as mesmas ocorrências no quesito “choques e solavancos”, mas a vibração foi maior no período da noite, podendo ter sido causada pelo maior deslocamento da máquina neste turno.

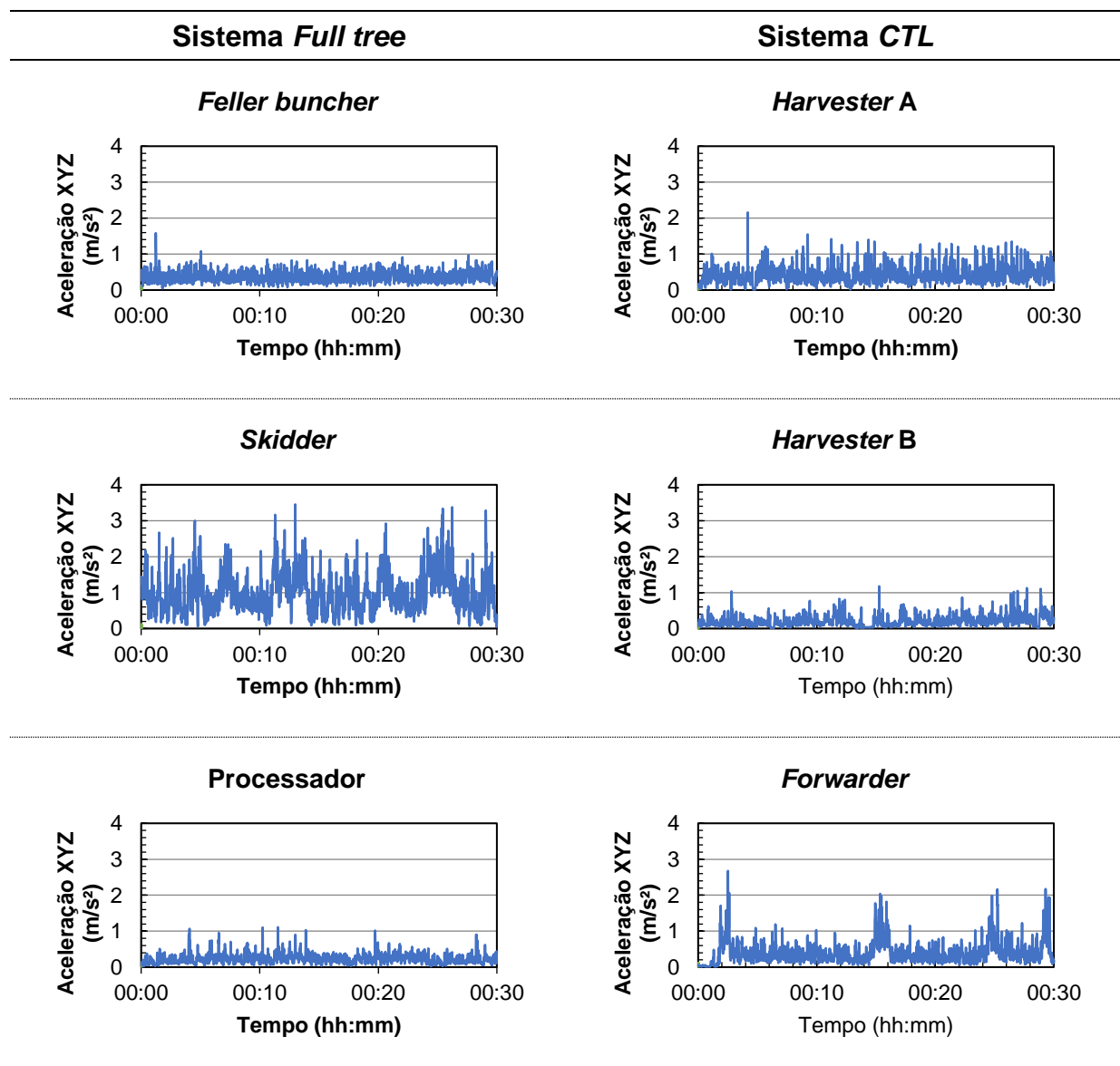
No sistema de toras curtas, o *harvester* de pneus 6X6 apresentou os maiores valores de vibração durante o período diurno, tanto em termos de aceleração média (aren de 0,91 e 0,68 m/s² para dia e noite) como de dose diária (VDVR de 18,37 e 12,50 m/s^{1,75} diurno e noturno), comprovado estatisticamente.

A máquina que apresentou os menores valores de aceleração média e dose diária (8h) foi o *harvester* de pneus 8X8, trabalhando no período da noite (aren de 0,44 m/s e VDVR de 10,06 m/s^{1,75}). Porém, no período diurno, esta máquina apresentou o segundo menor valor de vibração média (0,55 m/s² com 12,15 m/s^{1,75} de aren e VDVR, respectivamente) ocasionado, possivelmente, pela maior quantidade de rodados que as demais máquinas de corte e menor velocidade de deslocamento. Gerasimov e Sokolov (2009) também encontraram melhores resultados de VCI em *harvesters* e piores em *skidders*, tendo sido atribuída a explicação de que quanto maior o deslocamento, maior a vibração.

O *forwarder* não apresentou diferença na aceleração e dose diária (8h) entre os períodos avaliados, tendo sido obtido os valores de 0,87 e 0,80 m/s^2 e 19,02 e 19,06 $m/s^{1,75}$, respectivamente. Porém, em comparação com as demais máquinas, tais valores foram considerados elevados.

Todas as máquinas estudadas apresentaram, em pelo menos um dos turnos, valores acima daqueles permitidos pela legislação. No Quadro 5 estão ilustrados os dados interpolados de vibração nos eixos X, Y e Z de todas as máquinas por um determinado período de tempo, de forma a caracterizar os padrões de vibração encontrados no estudo. Evidentemente, o *skidder* foi a máquina que apresentou os valores mais elevados de vibração, com padrão que demonstrou maior dispersão.

Quadro 5. Padrão típico de vibração observado em todas as máquinas durante um determinado período de tempo.



O *forwarder* foi outra máquina que apresentou valores elevados de vibração. Entretanto, tais valores apareceram entre intervalos de tempo, de forma a caracterizar padrões de vibração bem definidos para cada elemento parcial do ciclo operacional. Os menores e mais frequentes valores de vibração foram referentes aos momentos de carregamento e descarregamento da madeira, onde houve pouco ou nenhum deslocamento da máquina, em contraste com os maiores e menos frequentes valores relacionados ao deslocamento no interior do talhão, com a caixa de carga vazia ou carregada. Assim, percebe-se a ocorrência de maiores vibrações ocasionadas durante o deslocamento da máquina, e não pelos impactos causados pelo implemento durante o carregamento e descarregamento da madeira no compartimento de carga. As demais máquinas apresentaram comportamento com menor variação e amplitude dos dados.

Os dois indicadores sugeridos para avaliação pela NHO 09 foram, então, confrontados com os limites restritivos desta norma (Figuras 16 e 17). Os valores médios de aceleração resultante de exposição normalizada (aren) acima de $1,1 \text{ m/s}^2$ ou os valores da dose de vibração resultante (VDVR) maior que $21 \text{ m/s}^{1,75}$, indicam que foi excedido o limite de exposição, sendo necessária a adoção imediata de medidas corretivas para controle da exposição. Os valores de aren entre 0,5 e $1,1 \text{ m/s}^2$ ou de VDVR entre 9,1 e $21 \text{ m/s}^{1,75}$ indicam exposição acima do nível de ação, tornando necessárias medidas preventivas para minimizar a probabilidade de que as exposições à vibração possam causar prejuízos à saúde dos trabalhadores e evitar que o limite de exposição seja ultrapassado.

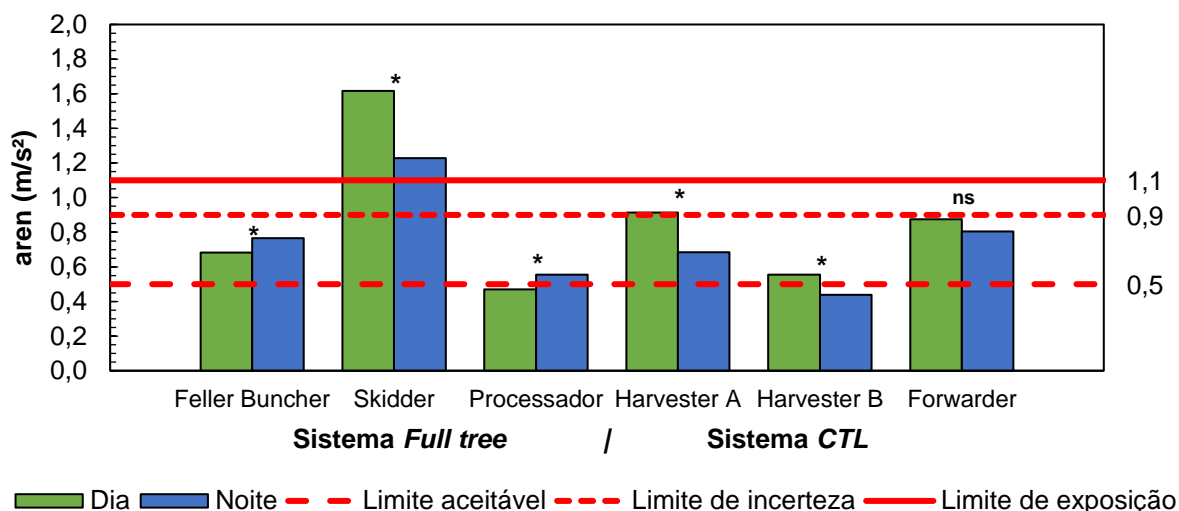


Figura 16. Aceleração média na exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro.

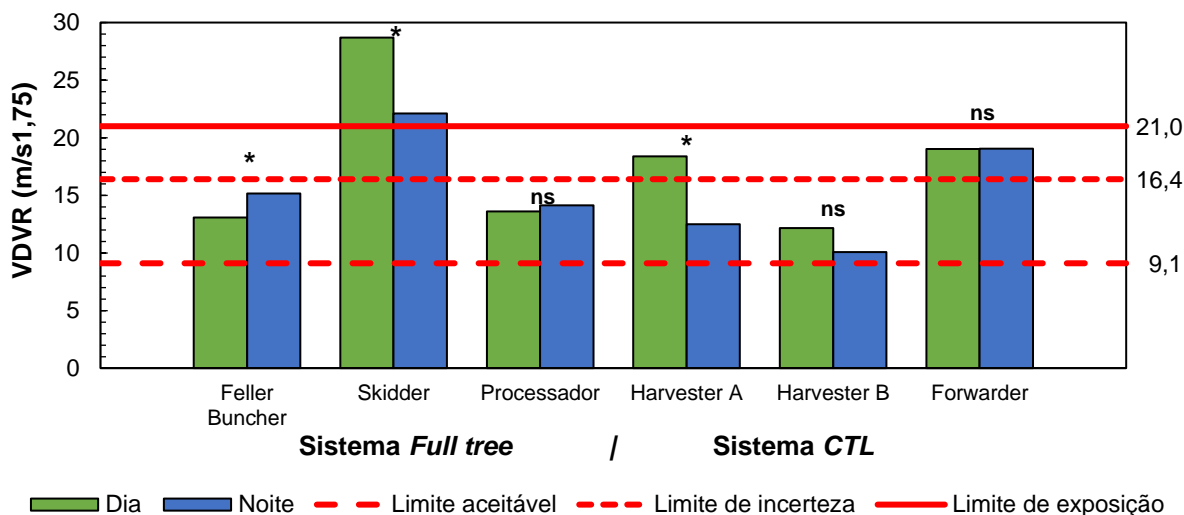


Figura 17. Dose diária (8h) na exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro.

O *skidder* apresentou os piores resultados de vibração, onde o limite de exposição foi ultrapassado em ambos os indicadores e turnos de trabalho, com evidente e imediata necessidade de medidas corretivas. A maior incidência de vibração ocorreu no turno diurno, podendo estar relacionada tanto às condições de localização e declividade do terreno, usualmente piores durante o dia, quanto à maior disposição do ser humano ao trabalho neste período, no qual, de acordo com Silva *et al.* (2013), seu ritmo tende a ser maior.

As únicas máquinas que apresentaram algum indicador abaixo do nível de ação foram o *harvester* processador no turno diurno e o *harvester* de pneus 8x8 no

período noturno, com 0,47 e 0,44 m/s² de vibração. Ambas as máquinas podem permanecer com a condição existente, mas somente nos períodos indicados, sem prejuízo imediato à saúde do trabalhador. Mesmo assim, deve sempre ser observada a possibilidade da redução da vibração ocupacional, variável esta que, segundo Sherwin *et al.* (2004), causa frequentes riscos à segurança e à saúde, além de redução da produtividade das operações.

Nas demais situações, todas as máquinas (*feller buncher*, *harvester* de pneus 6x6 e *forwarder* em ambos os turnos, além do *harvester* processador no turno noturno e do *harvester* de pneus 8x8 no diurno) permaneceram na zona de potenciais riscos à saúde dos trabalhadores e devem ser observadas medidas preventivas que objetivem tanto a redução da vibração média em termos de aceleração, como da dose diária de exposição à vibração. De acordo com a NHO 09 (FUNDACENTRO, 2013), tais medidas necessitam abranger o monitoramento periódico da exposição à VCI, bem como a informação, a orientação dos trabalhadores e o controle médico (exames de saúde ocupacional).

Estudos relacionados com a exposição ocupacional à vibração do corpo inteiro no trabalho com máquinas pesadas podem incluir diferentes alternativas, como variação na pressão dos pneus (SHERWIN *et al.*, 2004), utilização de diferentes enchimentos para assentos (JI *et al.*, 2017), redução da velocidade de deslocamento durante o trabalho (CUONG *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2014), reorganização do trabalho por meio da redução da exposição do trabalhador à vibração e treinamentos periódicos do operador (LANGER *et al.*, 2012), ou até mesmo o uso de máquinas com maior número de rodados, com vistas à melhorar a estabilidade e homogeneizar os impactos dos pneus com o solo. Tais situações reforçam que o maior risco de exposição às VCIs está no contato dos rodados com o terreno durante o deslocamento das máquinas, e não nos impactos causados pelo conjunto lança e implemento (garra, cabeçote, etc.) durante as operações (HÄGGSTRÖM, *et al.*, 2016). Em todos os casos, sempre se deve ter em vista o desenvolvimento de estratégias para a redução dos riscos à saúde dos operadores.

3.2 Ruído

Os valores médios de ruído obtidos nos períodos diurno e noturno estão demonstrados na Tabela 14. Esta variável ergonômica se manifestou de forma

bastante peculiar para cada máquina, não havendo tendência em afirmar que houve maior intensidade entre os turnos avaliados. Além disso, a maioria das máquinas não apresentou diferenças estatísticas entre os ruídos de ambos os períodos.

Tabela 14. Ruído médio calculado para as máquinas dos sistemas *Full tree* e *Cut to length*.

Sistema	Máquina	Rodados	Ruído médio NEN (dB A)		p-valor
			Diurno	Noturno	
<i>Full tree</i>	<i>Feller buncher</i>	Esteiras	65	78	0,0001
	<i>Skidder</i>	Pneus (6)	89	87	0,3712
	Processador	Esteiras	69	62	0,1305
<i>CTL</i>	<i>Harvester A</i>	Pneus (6)	74	64	0,0206
	<i>Harvester B</i>	Pneus (8)	63	70	0,1131
	<i>Forwarder</i>	Pneus (8)	72	73	0,6227

NEN: Nível de Exposição Normalizada; nível de significância de 5%.

No sistema *full tree*, o *feller buncher* apresentou ruído no período noturno de 78 dB (A), valor muito acima em relação ao período diurno, com 65 dB (A), com diferença significativa entre si pelo teste t, podendo prejudicar a atenção do trabalhador e sua saúde auditiva. O *skidder* foi a máquina que apresentou os maiores valores de ruído, tanto no período diurno quanto no noturno, com valores de 89 dB (A) e 87 dB (A), mas com ausência de diferença estatística entre os turnos de trabalho. Entrementes, o *processador florestal* apresentou os menores valores do período noturno, com 62 dB (A) e, apesar da média de 69 dB (A) no período diurno, não foi verificada diferença estatística.

No sistema *cut to length*, o *harvester A* (6X6) apresentou 74 dB(A) de ruído no período diurno, valor mais elevado deste sistema, porém inferior aos notados nas demais máquinas, com diferença significativa em relação ao nível de ruído de 64 dB (A) quantificado no turno da noite. Enquanto isso, o *harvester B* (8X8) apresentou a menor média de ruído nos turnos diurno e noturno, com 63 e 70 dB (A), sem diferença estatisticamente significativa entre os períodos avaliados. No *forwarder* foram verificados 72 e 73 dB (A) nos períodos diurno e noturno, também sem ter apresentado diferença estatística.

Ao terem estudado os níveis de ruído em diversas máquinas de colheita da madeira na Rússia, Gerasimov e Sokolov (2014) verificaram que o *skidder* participante de sua pesquisa apresentou os níveis mais elevados de ruído, uma característica intrínseca da máquina. No presente estudo, além esta variável ergonômica ser causada pelo motor e pelos impactos acarretados na operação, cabe destacar que a vida útil no momento da coleta de dados estava em 25.000 horas, tendo sido observado desgaste nas borrachas de vedação das portas, fatores que podem ter contribuído nos maiores valores de ruído encontrados. Em tal situação operacional, esta foi a única máquina que apresentou níveis de ruído acima dos permitidos pela NR 15 para um trabalho de 8 horas consecutivas de exposição (Figura 18).

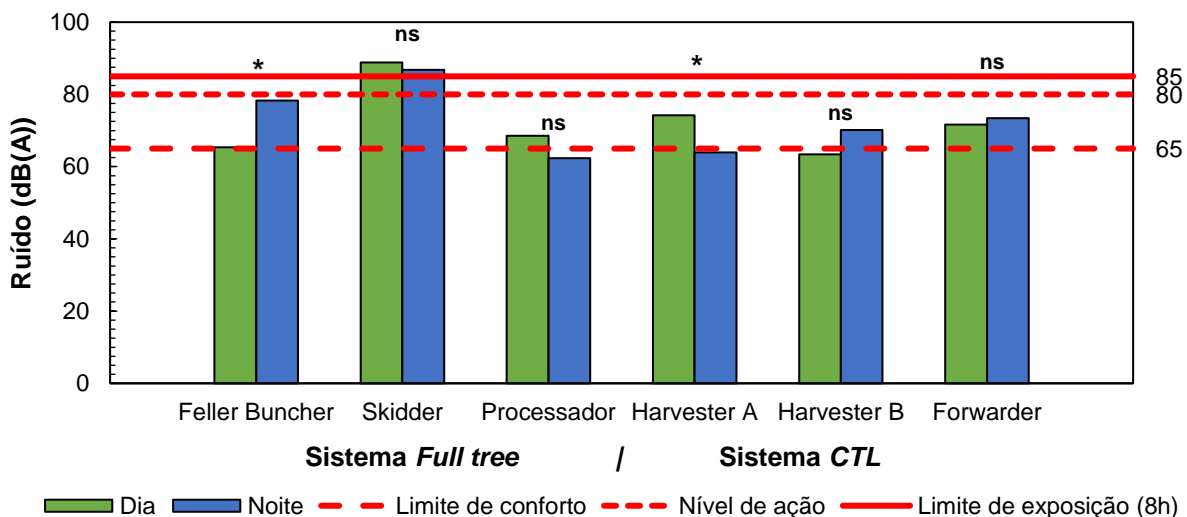


Figura 18. Valores médios da avaliação de exposição ocupacional ao ruído.

Como medida corretiva imediata, pode-se destacar o uso de protetores auditivos para atenuar a pressão sonora que chega até o ouvido do trabalhador. Mesmo que deva ser considerado como último recurso (IIDA e GUIMARÃES, 2016) e seu uso tenha, por vezes, pouca aceitabilidade por parte dos trabalhadores (BATISTA *et al.*, 2014), o protetor deve ser utilizado até que outra medida mais eficiente e definitiva seja tomada, como a troca da máquina por outra com menor ruído no motor ou melhor isolamento acústico da cabine por meio de melhorias no projeto da máquina por parte do fabricante.

Apesar do limite de exposição de 85 dB (A) para uma jornada de 8 horas estabelecido pela NR 15 ter sido ultrapassado apenas no caso do *skidder*, todas as

outras máquinas ficaram abaixo do nível de ação de 80 dB (A) indicado pela NR 09, a partir do qual devem ser tomadas medidas de prevenção. Sendo assim, a exposição ao ruído ocupacional no *feller buncher*, no processador florestal, em ambos os *harvesters* e no *forwarder* pode ser considerada segura, não demandando nenhuma ação de controle de riscos ocupacionais relacionados a esta variável.

Mas quando o tema deixa de ser saúde ocupacional e passa a ser conforto acústico é observado que, com exceção do *skidder*, todas as demais máquinas apresentaram ruído acima ou muito próximos ao limite de conforto delimitado na NR 17. Esta norma assevera que atividades necessárias de solicitação intelectual e atenção constantes não devem possuir exposição ao ruído acima de 65 dB (A), que pode ser considerado nas operações de colheita da madeira. Assim, sugere-se uma complementação na legislação de forma que sempre se use a diferenciação entre as várias exigências intelectuais de cada tarefa na avaliação do ruído, visto que mesmo em níveis inferiores aos que causam problemas auditivos, esta variável poderá aumentar o risco de acidentes dependendo da exigência de concentração e atenção no trabalho.

O *forwarder* foi a única das demais máquinas que, em ambos os períodos de trabalho, ultrapassou tal marca limítrofe e, junto ao *skidder*, permaneceu acima do limite de exposição. Ambas máquinas têm em comum o fato de serem utilizadas na fase de extração da madeira e passarem parte do seu ciclo de trabalho em deslocamento no interior do talhão, quando a operação exige maior potência de trabalho, fazendo com que a máquina aumente a aceleração, e conseqüentemente, os níveis de ruído.

Ao terem estudado o ruído em diferentes máquinas de colheita da madeira, Minette *et al.* (2007) encontraram valores maiores comparados ao presente estudo para *feller buncher* e *skidder*, com ambos ultrapassando o limite permitido de 85 dB (A) para 8 horas. Ambas as máquinas também ultrapassaram este limite no estudo de Fonseca *et al.* (2015), com 93 e 97 dB (A), respectivamente, e reforçam a necessidade de melhorias nos projetos das máquinas, com a necessidade de melhorias no projeto de isolamento acústico da cabine.

Ressalta-se que, a presença de ruídos elevados no ambiente de trabalho poderá comprometer a audição, causando danos irreversíveis à saúde dos trabalhadores (DUL e WEERDMEESTER, 2012), mas além do problema auditivo, a

exposição prolongada ao ruído poderá causar desconforto, dores de cabeça e diminuição da atenção com a tarefa a ser realizada, aumentando o risco de acidentes e diminuindo o desempenho no trabalho (IIDA e GUIMARÃES, 2016). Portanto, deve-se evitar a exposição prolongada dos trabalhadores a ruídos elevados, em um primeiro momento adequando-se aos tempos máximos de exposição permitidos pela NR-15 e, em um segundo momento, diminuindo cada vez mais a exposição, mesmo já estando dentro dos níveis toleráveis pela norma.

3.3 Exposição ao calor

As médias de Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo (IBUTG) obtidas para todas as máquinas estudadas estão mostradas na Tabela 15. Como todas as máquinas possuíam sistema de ar condicionado, o controle da temperatura interna era regulado pelos próprios operadores. Os maiores valores obtidos foram, então, verificados no turno diurno nas máquinas que trabalhavam por maior tempo sob a luz solar e com tempo de utilização mais avançado.

Tabela 15. IBUTG médio calculado para as máquinas dos sistemas *Full tree* e *Cut to length*.

Sistema	Máquina	IBUTG		p-valor
		Diurno	Noturno	
<i>Full tree</i>	<i>Feller buncher</i>	19,2	17,1	0,0222
	<i>Skidder</i>	20,5	15,3	< 0,0001
	Processador	18,1	17,1	0,2235
<i>CTL</i>	<i>Harvester A</i>	18,0	16,0	0,0437
	<i>Harvester B</i>	18,8	17,3	0,1461
	<i>Forwarder</i>	20,6	14,6	< 0,0001

Nível de significância de 5%.

De acordo com a NR 15, a atividade de operador de máquinas de colheita da madeira pode ser classificada como leve, pois o operador permanecia sentado, com movimentos moderados de braços e pernas. Os limites máximos para cada classe de atividade, de acordo com esta NR, estão mostrados na Figura 19. Como pode ser observado, todas as máquinas estiveram abaixo do IBUTG 30,0 para trabalho contínuo recomendado neste tipo de operação.

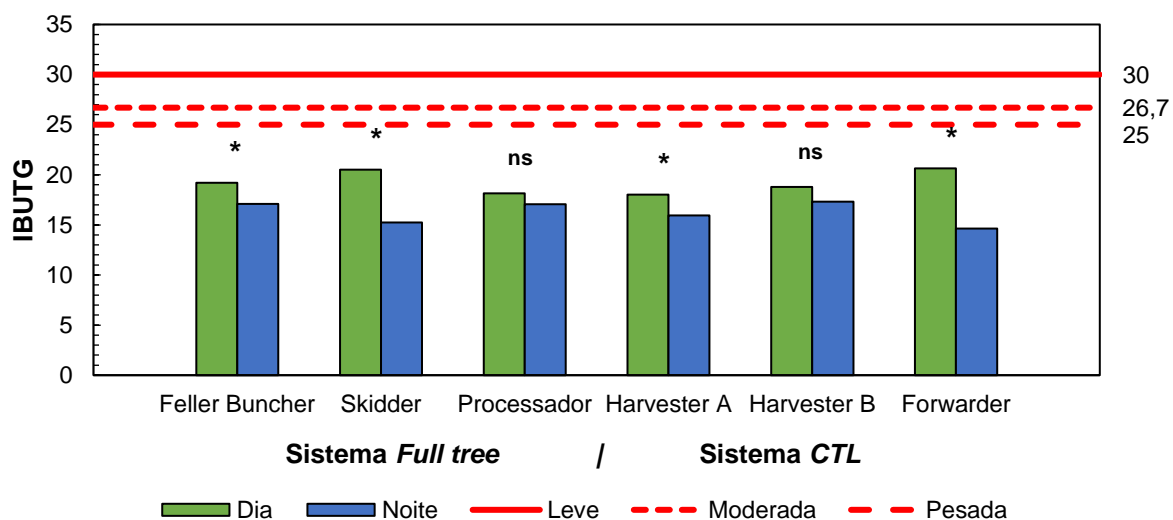


Figura 19. Valores médios de IBUTG obtidos na avaliação de exposição ocupacional ao calor.

O *feller buncher* apresentou os IBUTGs médios de 19,2 e 17,1 para os turnos diurno e noturno. Apesar de ser uma máquina com vida útil avançada (15.000 h), em muitos momentos, o corte das árvores não era realizado diretamente do lado do povoamento com radiação solar direta. Isto faz com que a exigência pelo sistema de ar condicionado não seja tão intensa.

Em contrapartida, o *skidder* trabalhava na maior parte de seu tempo sob radiação solar direta e apresentou as médias IBUTGs de 20,5 e 15,5 nos turnos diurno e noturno. Com o horímetro elevado em torno de 25.000 h, verificou-se que o sistema de vedação das portas se apresentava defeituoso, com as borrachas em más condições de conservação. Isto pode ter contribuído tanto com a deficiência na vedação da cabine e com o aumento da temperatura interna no turno diurno, onde a máquina teria maiores dificuldade no arrefecimento, como também na temperatura mais baixa à noite, onde a parte interna da cabine perderia calor para o meio externo com mais facilidade.

O processador florestal, que possuía 18.000 horas de uso, apresentou as médias de IBUTGs de 18,1 durante o período diurno e 17,1 no período noturno, entretanto tais valores não diferiram estatisticamente entre si.

No *harvester* 6x6, com 13.000 horas de trabalho, foram observadas médias IBUTG de 18,0 no período diurno e 16,0 no noturno, com diferença estatística entre os turnos. Durante o dia, a máquina ficava mais exposta à luz solar direta em alguns

momentos, causando o aumento da temperatura interna, mesmo com o ar condicionado ligado.

O *harvester* 8x8, em contrapartida, apresentou as médias IBUTG de 18,8 durante o período diurno e 17,3 no período noturno, sem diferença significativa entre ambos os períodos de observação. Com aproximadamente 3.500 horas de uso, esta foi a máquina mais nova dentre todas as estudadas, fato que pode ter favorecido na homogeneidade de temperaturas entre diferentes turnos, devido a maior conservação da vedação da cabine.

No trabalho com o *forwarder* foram observadas médias de IBUTG de 20,6 no turno diurno e 14,6 no noturno, com diferença estatística entre os períodos avaliados. Com 11.000 horas de uso, nota-se a diferença de temperatura entre turnos principalmente devido ao grande tempo que a máquina passava sob insolação direta durante o dia em todas as fases de seu trabalho.

Já foi observado que as borrachas de vedação das portas das máquinas de colheita da madeira podem ser danificadas pelo próprio operador ao subir e descer da máquina, comprometendo, com o passar do tempo, o conforto térmico dentro da cabine (MINETTE *et al.*, 2007). Por isso, deve-se tomar cuidado para que elas não sofram maiores desgastes, pois a temperatura ambiente tem um efeito estatisticamente significativo no comportamento inseguro dos trabalhadores (RAMSEY *et al.*, 1983).

A NR 15 assevera que para este tipo de atividade o IBUTG tem de permanecer abaixo de 30,0 para trabalho contínuo para não causar danos à saúde dos trabalhadores (BRASIL, 1978b). Além disso, acima deste valor também já foi observado decréscimo do desempenho no trabalho para tarefas complexas que exigem atenção (RAMSEY e KWON, 1992).

Cabe ressaltar que a resposta fisiológica ao calor varia de pessoa para pessoa. Isto depende do tipo de tarefa, da duração da exposição, do nível de habilidade e da aclimatação do indivíduo (HANCOCK e VASMATZIDIS, 2003). Sendo assim, a regra geral foi observada neste estudo, mas as características particulares de cada máquina e operador devem ser levadas em consideração em uma análise mais aprofundada da exposição destes a temperaturas elevadas.

3.4 Iluminância

Os dados de iluminância foram mensurados em campo na região próxima dos implementos das máquinas no momento da execução da operação. Como pode ser observado na Tabela 16, sempre houve diferença estatística entre os períodos diurno e noturno.

Tabela 16. Iluminância média calculada para as máquinas dos sistemas *Full tree* e *Cut to length*.

Sistema	Máquina	Implemento próximo do qual foi realizada a medição	Iluminância (lux)		p-valor
			Diurno	Noturno	
<i>Full tree</i>	<i>Feller buncher</i>	Cabeçote acumulador	3.142 ± 466	193 ± 21	< 0,0001
	<i>Skidder</i>	Pinça	> 20.000	145 ± 18	
	Processador		4.976 ± 480	336 ± 51	
<i>CTL</i>	<i>Harvester A 6x6</i>	Cabeçote processador	7.720 ± 477	313 ± 50	
	<i>Harvester B 8x8</i>		7.735 ± 1122	277 ± 41	
	<i>Forwarder</i>	Garra	> 20.000	202 ± 26	

Nível de significância de 5%.

Sobre o sistema *full tree*, o *feller buncher* realizou seu trabalho parcialmente sombreado pelas árvores a serem derrubadas e, nestas condições, as iluminâncias médias observadas foram de 3.142 ± 466 lux no período diurno e de 193 ± 21 lux no noturno. Em contrapartida, o *skidder* trabalhou na maior parte do período diurno em deslocamento pelo talhão derrubado e, desta forma, a iluminância observada esteve acima do limite mensurável pelo luxímetro (20.000 lux), enquanto que no turno da noite a média mensurada ficou em 145 ± 18 lux, o menor valor observado dentre todas as máquinas estudadas. O *processador florestal*, por sua vez, apresentou média de iluminância diurna de 4.976 ± 480 lux devido ao trabalho ocorrer na bordadura de um talhão ainda não colhido, sendo por vezes sombreado, mas com valor maior em relação ao *feller buncher* por ter sofrido menos influência dos raios solares. No período noturno, a média desta máquina ficou em 336 ± 51 lux, com maior média dentre as máquinas do sistema, fato explicado pela maior capacidade de iluminação de seu sistema de iluminação.

No sistema *Cut to length*, tanto o *harvester 6x6* quanto *8x8* trabalharam parcialmente sombreados pelas árvores a serem derrubadas, sendo observados

valores de iluminância média de 7.720 ± 477 e 7.735 ± 1122 lux no período diurno, enquanto que no turno da noite os valores foram de 313 ± 50 e 277 ± 41 lux. O *forwarder*, por ter trabalhado sob luz solar direta durante o período diurno, apresentou valores acima do limite de 20.000 lux mensurável pelo luxímetro, enquanto que no período noturno, a sua média de iluminância foi de 202 ± 26 , a menor dentre as máquinas deste sistema.

Os valores médios de iluminância obtidos neste estudo confrontados com o mínimo indicado pelo Instituto de Pesquisas Florestais da Suécia (SKOGFORSK, 1999) estão mostrados na Figura 20. O limite considerado é o que diz respeito à área próxima do implemento.

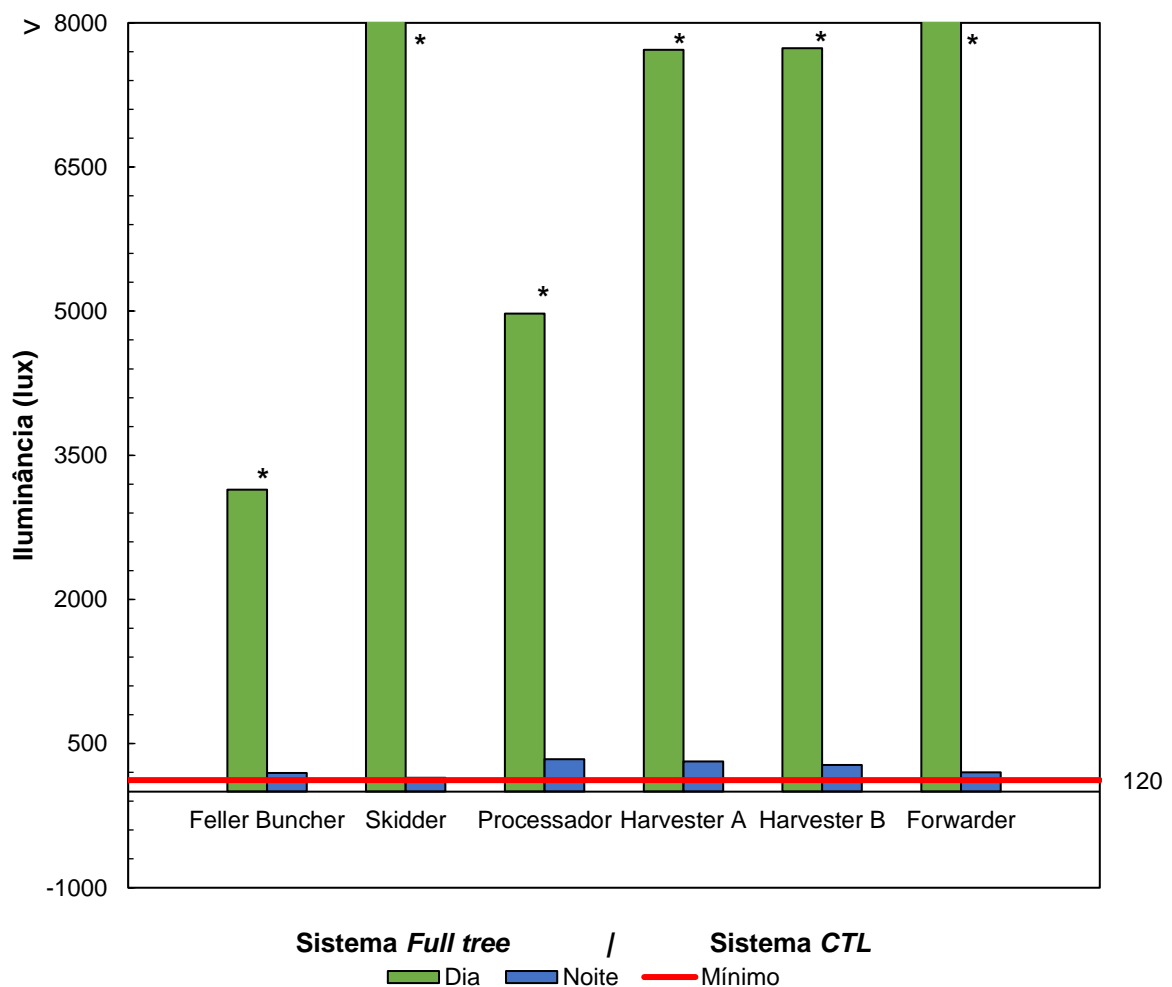


Figura 20. Iluminância no entorno de implementos de máquinas de colheita para os turnos diurno e noturno. A linha vermelha representa o limite mínimo indicado.

Todas as máquinas apresentaram iluminância média acima do mínimo definido pelo Skogforsk (1999). O *feller buncher* foi a segunda máquina que apresentou iluminância noturna mais próxima do limite, com média de 73 lux. O *skidder* teve valores médios mais próximos ao limite neste turno, com apenas 25 lux acima do recomendado. Ao terem estudado a iluminância em operações de colheita mecanizada da madeira, Minette *et al.* (2007) também verificaram que estas máquinas possuíam condições de iluminação abaixo do ideal.

Em ambos os casos, deve haver ressalvas antes de se afirmar que esta variável ergonômica pode ser considerada livre de possibilidades de apresentar situações problemáticas. No período noturno da coleta de dados, o céu se encontrava livre da presença de nuvens. Em situação de maior nebulosidade, pode ser que haja redução da eficiência do sistema de iluminação das máquinas, levando a diminuir a iluminância e colocando a operação em situação de risco ao operador, além de prejudicar a qualidade e produtividade do trabalho. Trabalhar no limite próximo também é um problema no caso da falha de algum dos pontos de luz do maquinário, levando a máquina a operar em estado crítico de luminosidade local.

O *processador florestal* e o *harvester* 6x6 apresentaram iluminância quase três vezes acima do mínimo estabelecido pelo Skogforsk, enquanto que o *harvester* 8x8 apresentou média pouco maior que duas vezes tal limite. O *forwarder*, por sua vez, apresentou menos que duas vezes o limite mínimo, sendo a terceira máquina com os piores valores nesta variável ergonômica, atrás apenas do *feller buncher* e do *skidder*. O trabalho noturno das três máquinas com pior iluminância está mostrado na Figura 21.



Figura 21. Arredores dos implementos das três piores máquinas no quesito iluminância. a) *skidder*; b) *feller buncher*; e c) *forwarder*.

Em um estudo sobre cansaço laboral e condições do trabalho em colheita de madeira na Austrália, foi verificado que um *forwarder* de 10 anos de utilização teve

iluminação de no máximo 150 lux a 5 metros da cabine, enquanto que em *harvesters* as médias foram de 350 a 900 lux próximo ao cabeçote (NICHOLLS *et al.*, 2004). Neste estudo, o *forwarder* apresentou 50 lux a menos, enquanto que os *harvesters* permaneceram com iluminância por volta de 300 lux, bem abaixo dos 900 observados na Austrália.

Entretanto, mesmo que a NBR ISO/CIE 8995-1 (ABNT, 2013) tenha sido desenvolvida para iluminância de interiores, cabe aqui fazer um paralelo com algumas de suas considerações. Ela assevera que a iluminação para edificações na agricultura, como carregamento e operação de mercadorias, equipamentos de manuseio e máquinas seja de no mínimo 200 lux, 80 a mais do que exigido pelo Skogforsk (1999). Tal limite mínimo não foi alcançado pelo *feller buncher* nem pelo *skidder*. Enquanto isso, a Norma Europeia para ambientes externos EN 12464-2 (CEN, 2007) menciona que o limite pode estar entre 20 e 50 lux para fazendas, mas em se tratando de atividades de alimentação de máquinas de descascar ou cortar madeira, tais valores sobem para 300 lux. Especificamente não há menção sobre operações florestais mecanizadas, sendo assim foi optado por utilizar o *Ergonomic Guidelines for Forest Machines* (SKOGFORSK, 1999) devido à sua maior aplicabilidade para este estudo.

Quanto maior for o tempo de exposição a ambientes com baixa iluminância, maior a probabilidade de riscos de acidentes devido à falta de iluminação adequada. Máquinas de colheita da madeira com iluminação deficiente podem aumentar o esforço visual até a fadiga, acarretando em redução da produtividade, erros e maior risco de acidentes. Em contrapartida, o aumento da iluminação, de acordo com Lida e Guimarães (2016), pode melhorar o desempenho de uma determinada tarefa, desde que não haja ofuscamento pela fonte de brilho ou pela superfície refletora.

Por fim, para um estudo mais aprofundado sobre luminosidade, podem ser levados em consideração a ausência, presença ou intensidade de ofuscamento, reprodução de cor e contraste como variáveis adicionais.

3.5 Repetitividade

Para a análise da repetitividade no trabalho foi utilizado o método de Moore e Garg (1995) que determina o *Strain Index* (SI) ou índice de esforço/tensão. Os

valores médios de *Strain Index* (SI) calculados para os períodos diurno e noturno estão apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Repetitividade média calculada para as máquinas dos sistemas *Full tree* e *Cut to length*.

Sistema	Máquina	Rodados	<i>Strain Index</i> (SI)		<i>p</i> -valor
			Diurno	Noturno	
<i>Full tree</i>	<i>Feller buncher</i>	Esteiras	6,38	4,88	0,0128
	<i>Skidder</i>	Pneus (6x6)	4,63	4,75	0,5575
	Processador	Esteiras	6,50	6,75	0,6333
<i>CTL</i>	<i>Harvester A</i>	Pneus (6x6)	5,35	5,13	0,2641
	<i>Harvester B</i>	Pneus (8x8)	4,75	4,75	0,8995
	<i>Forwarder</i>	Pneus (8x8)	4,38	4,92	0,1471

Nível de significância de 5%.

Os valores mais elevados foram encontrados no *processador florestal* em ambos os turnos de trabalho, bem como no *feller buncher*, porém somente no período diurno. Ambas as máquinas desenvolviam menos atividades parciais durante seus ciclos de trabalho em comparação com as demais, fator que aumentou a realização dos mesmos movimentos, de forma a se obter maior monotonia e repetitividade com consequente elevação do SI.

O trabalho com o *feller buncher* durante o período diurno apresentou valores elevados em comparação com as demais máquinas, com SI médio de 6,38. Uma explicação do maior valor nesse turno em comparação ao período noturno (SI = 4,88, com diferença estatística pelo teste t) pode ser a maior disposição fisiológica do ser humano no trabalho diurno em detrimento ao noturno (SILVA *et al.*, 2013) observada nesta máquina que possui poucos elementos parciais em seu ciclo de trabalho, fator que contribuiu para a monotonia da atividade. O *skidder* apresentou valores intermediários, com SI de 4,63 e 4,75 para os períodos diurno e noturno.

Caracterizado por expressar SI nos valores médios de 6,5 para o turno diurno e 6,75 para o período da noite, o processador foi a única máquina que, em ambos os turnos de trabalho, ultrapassou o limite de incerteza (SI = 5) e que mais se aproximou da zona de alto risco de lesão (SI = 7), com maior possibilidade da ocorrência de disfunções músculo tendinosas nos membros superiores. Diferentemente dos *harvesters* que possuem as atividades parciais de busca,

derrubada e processamento, o *processador florestal* necessitava apenas realizar esta última, o que tornava a atividade com menor rotação de tarefas parciais e ocasionava maior repetição dos mesmos movimentos, de forma a aumentar a monotonia e a realização de movimentos repetitivos. Os *harvesters* 6x6 e 8x8 e o *forwarder* apresentaram valores intermediários, com SI de 5,35, 4,75 e 4,38 para o período diurno e 5,13, 4,75 e 4,92 para o noturno.

Os limites para todas as máquinas podem ser verificados na Figura 22.

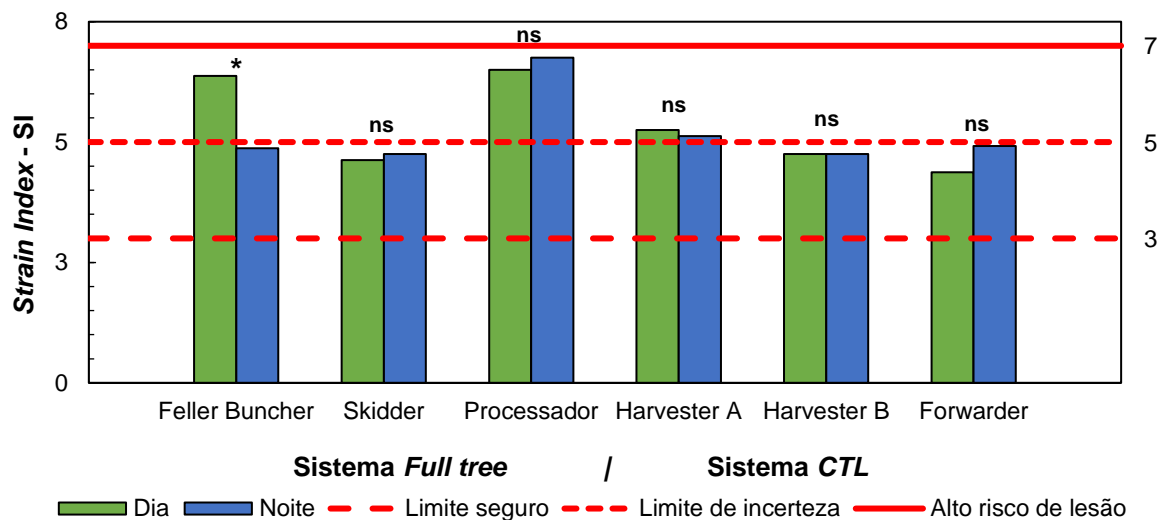


Figura 22. Valores médios de repetitividade obtidos na execução das atividades de colheita da madeira pelas máquinas avaliadas.

Sendo assim, na variável repetitividade determinada pelo *Strain Index*, o *processador florestal* foi a máquina que apresentou os maiores problemas em relação a esta variável ergonômica, com necessidade da adoção de medidas preventivas visando à redução da possibilidade da ocorrência de lesões nos membros superiores em decorrência da alta taxa de movimentos repetitivos, como a rotação de tarefas, a introdução de pausas programadas ou até mesmo a redução do ritmo de trabalho. Como o esforço na operação foi considerado baixo, o fator que realmente elevou o SI foi a quantidade média de movimentos realizados (em média 15 a 19 por minuto) e a realização da tarefa em mais de 80% do ciclo de trabalho.

Uma outra máquina que também ultrapassou o limite de incerteza foi o *harvester* 6x6 em ambos os turnos, com SI de 5,35 e 5,13 para os trabalhos diurno e noturno. Mesmo estando muito próximo do limite de incerteza, pode ser considerado como indicativo para uma análise mais aprofundada sobre a operação

no sentido de prevenir o aumento da repetitividade laboral e a possibilidade da ocorrência de lesões nas mãos. Novamente se destaca a possibilidade da introdução de pausas programadas ou rodízio de tarefas para reduzir a repetitividade dos movimentos.

Todas as demais máquinas estudadas não ultrapassaram e permaneceram dentro da zona de incerteza, com SI entre 3 e 5. Isto significa que independentemente da operação, deve-se buscar estratégias preventivas para que nenhum trabalhador venha a ser acometido por lesões nos membros distais superiores.

Cabe ressaltar que nenhuma das máquinas apresentou repetitividade na zona de segurança contra lesões, ou seja, com SI abaixo de 3. Tal fato se deve à ausência de várias situações positivas que necessitariam acontecer em conjunto para reduzir este valor. Além do esforço leve verificado em todas as operações, seria necessária também a realização da ação em baixos percentuais de tempo do ciclo de trabalho, baixa frequência (incidência) da ação por ciclo, postura muito boa, ritmo lento e pouca duração do trabalho por dia. Em suma, pode-se dizer que as situações operacionais deste estudo não apresentaram grau de esforço considerado prejudicial à saúde. Entretanto, a caracterização dos altos valores de SI se deu principalmente pela elevada quantidade (frequência) de leves movimentos repetitivos e com pequenos desvios da posição neutra das mãos, com sua ocorrência na maior parte da jornada de trabalho.

Entretanto, apesar da alta intensidade de movimentos repetitivos ser considerada ruim para a saúde laboral, em situações normais, a repetitividade pode ser utilizada como critério caracterizador de perfil comportamental na seleção de operadores de máquinas de colheita, como averiguado por Pagnussat e Lopes (2017). Em tal estudo, ambos identificaram que os operadores de *harvesters* com perfil mais adequado ao cargo apresentaram, dentre outras características, a paciência com tarefas repetitivas, presente em pessoas metódicas, capazes de desenvolver tarefas previsíveis e repetitivas.

Sendo assim, o real problema não é a tarefa repetitiva em si, mas sim a alta intensidade de movimentos repetitivos que podem originar lesões nos membros superiores. Tendo estudado os relatos pessoais de mais de 100 trabalhadores da colheita mecanizada de madeira no sistema CTL, Silva *et al.* (2014) verificaram que a ocorrência de dor nos membros superiores se relacionava com a alta exigência

desses segmentos corporais na atividade, com predominância de movimentos repetitivos durante toda a jornada de trabalho. Tal fato foi verificado também neste estudo, mas o agravante ficou em duas das três máquinas do sistema *full tree* (processador e *feller buncher*). Em outro estudo, Silva *et al.* (2013) constataram que 90% dos mesmos operadores citados consideravam a tarefa repetitiva, mas 75% não avaliaram que seu ritmo de trabalho estaria acima do limite.

Tais situações demonstram a importância de estudos que de fato mensurem as reais intensidades de realização das tarefas repetitivas e proporcionem um confiável diagnóstico com base na avaliação. Neste, o SI conseguiu caracterizar e diferenciar intensidade de movimentos repetitivos entre turnos em diferentes máquinas de colheita, com identificação daquelas com maior urgência e necessidade de acompanhamento com vistas ao controle e/ou redução da repetitividade laboral.

3.6 Posturas

As posturas típicas identificadas para os operadores de *feller buncher* estão mostradas na Figura 23.



Figura 23. Posturas típicas adotadas pelos operadores no corte com *feller buncher* nos períodos de trabalho diurno (a) e noturno (b).

Identificou-se apenas uma postura típica nesta operação para ambas as fases de busca/corte e deslocamento/empilhamento. É possível caracterizar o

operador sentado, com as costas e os antebraços bem apoiados e cabeça voltada sempre em direção à frente. Como o *feller buncher* de esteiras estudado possuía grua lateral, quando era necessário fazer algum movimento horizontal para busca das árvores ou depósito do feixe de árvores sobre o terreno, toda a cabine girava em torno de seu próprio eixo, fazendo com que o implemento sempre permanecesse no campo de visão do operador, não exigindo torções de pescoço ou tronco.

As posturas típicas identificadas para os operadores de *skidder* estão mostradas na Figura 24.

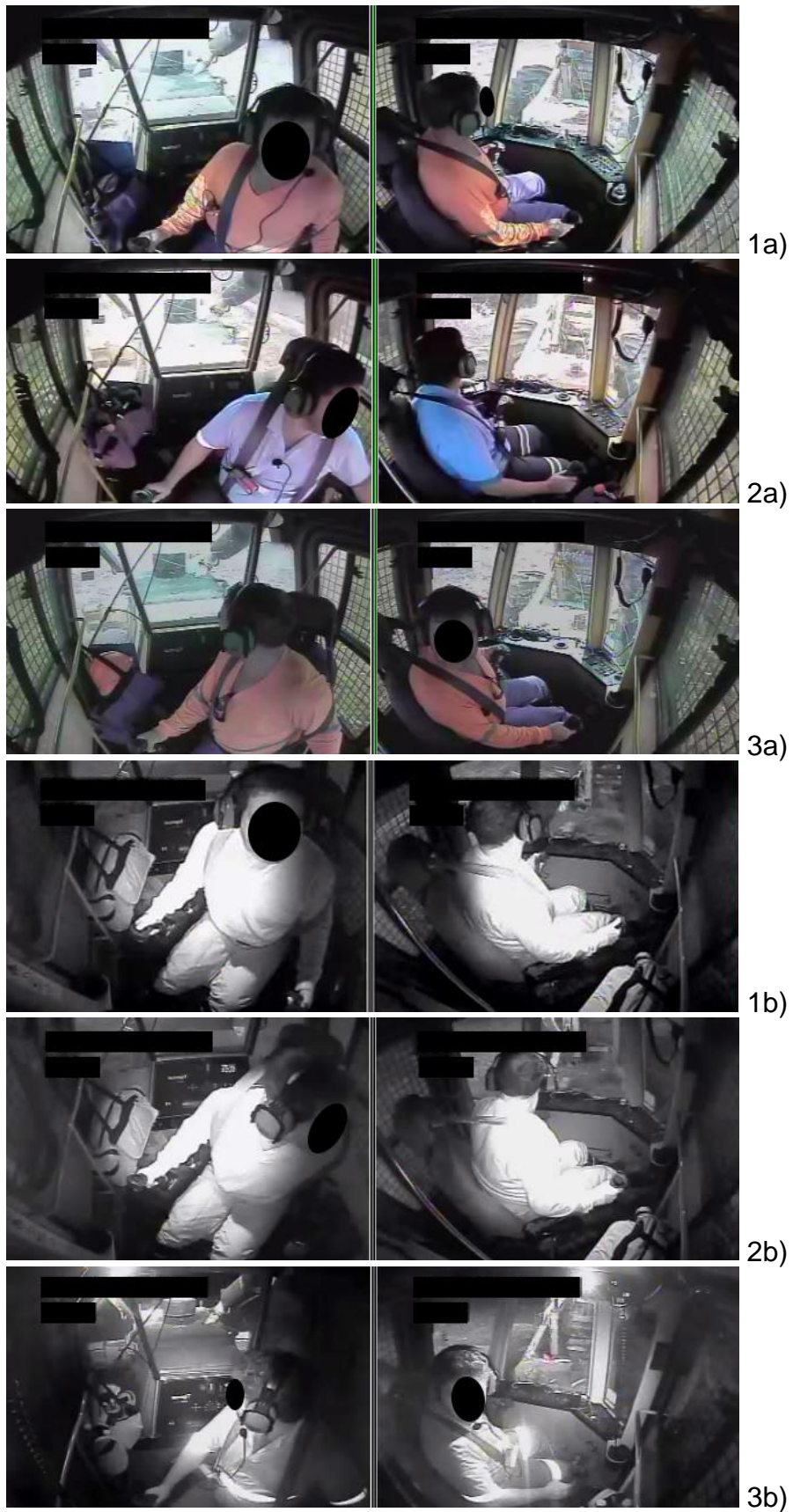


Figura 24. Posturas típicas adotadas pelos operadores na extração com *skidder* nos períodos de trabalho diurno (a) e noturno (b).

Na operação de arraste com *skidder* foram identificadas três posturas típicas, sendo que as 1 e 2 aconteceram nas fases de viagem vazio e manobras para carregamento e descarregamento da madeira, enquanto que a postura 3 aconteceu na fase de viagem carregado. Em todas as posturas obtidas, o operador permaneceu sentado com apoio para as costas e para os antebraços, mas em nenhuma das três posturas o operador permaneceu com a cabeça voltada diretamente para a frente de seu tronco.

Nas posturas 1 e 2 o operador girava a cabeça para os lados de forma a conseguir visualizar tanto a garra como o feixe de árvores. Na postura 3, girava a cabeça e o tronco para a frente da máquina (extremidade oposta ao implemento), situação crítica devido ao banco do *skidder* não estar com o dispositivo de giro do assento funcionando.

As posturas típicas identificadas para os operadores do *processador florestal* estão mostradas na Figura 25.



Figura 25. Posturas típicas adotadas pelos operadores no processamento com *processador florestal* nos períodos de trabalho diurno (a) e noturno (b).

Nesta operação foi identificada apenas uma postura típica adotada pelos operadores nas fases de busca e processamento, com o operador permanecendo sentado, com as costas pouco inclinadas apoiadas no encosto do assento, os antebraços nos apoios para braços e cabeça voltada sempre em direção à frente (operação). Esta máquina de esteiras possuía grua lateral e, quando era necessário

fazer algum movimento horizontal para busca das árvores para processamento, toda a cabine girava em torno de seu próprio eixo, de modo que o implemento sempre permanecesse no campo de visão do operador, não exigindo torções de pescoço ou tronco e favorecendo, portanto, a qualidade da postura adotada pelos operadores.

As posturas típicas identificadas para os operadores do *harvester* 6x6 estão mostradas na Figura 26.

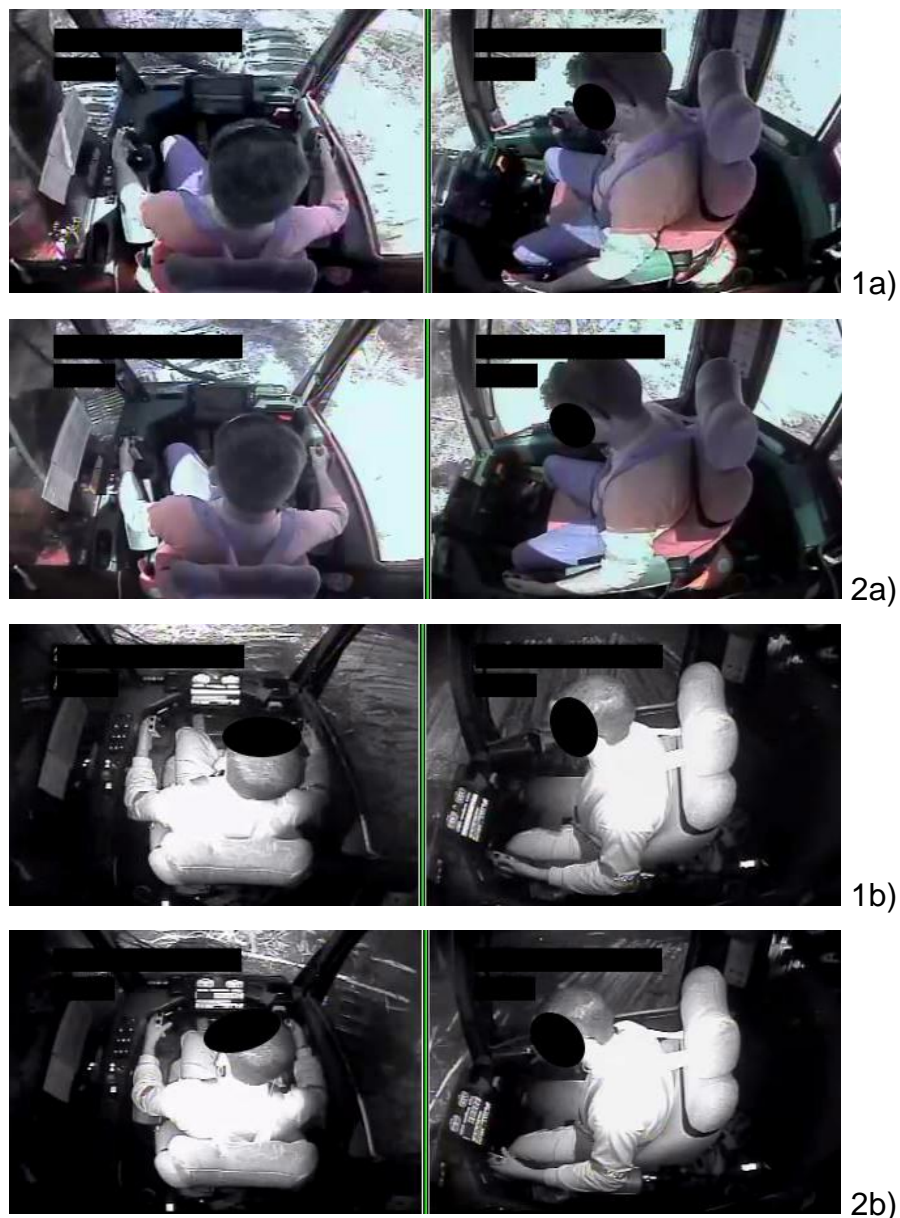


Figura 26. Posturas típicas adotadas pelos operadores no corte com *harvester* A nos períodos de trabalho diurno (a) e noturno (b).

Foram identificadas duas posturas típicas na operação de corte com o *harvester* 6x6. Na postura 1, o operador permanecia sentado e com apoio para as costas e antebraços, além de pouca inclinação ou torção de cabeça e tronco. Em uma máquina base com rodados de pneus e tração 6x6, esta máquina possuía lança lateral acoplada na cabine, de forma que não era exigida torção ou inclinação da cabeça do operador nas fases de busca da árvore em pé e processamento da madeira, pois o giro acontecia em torno de seu próprio eixo. A postura 2 se diferenciou em relação à 1 apenas por demonstrar maior inclinação frontal do operador, o qual necessitava verificar as informações presentes na tela digital do computador de bordo da máquina.

As posturas típicas identificadas para os operadores do *harvester* 8x8 estão mostradas na Figura 27.

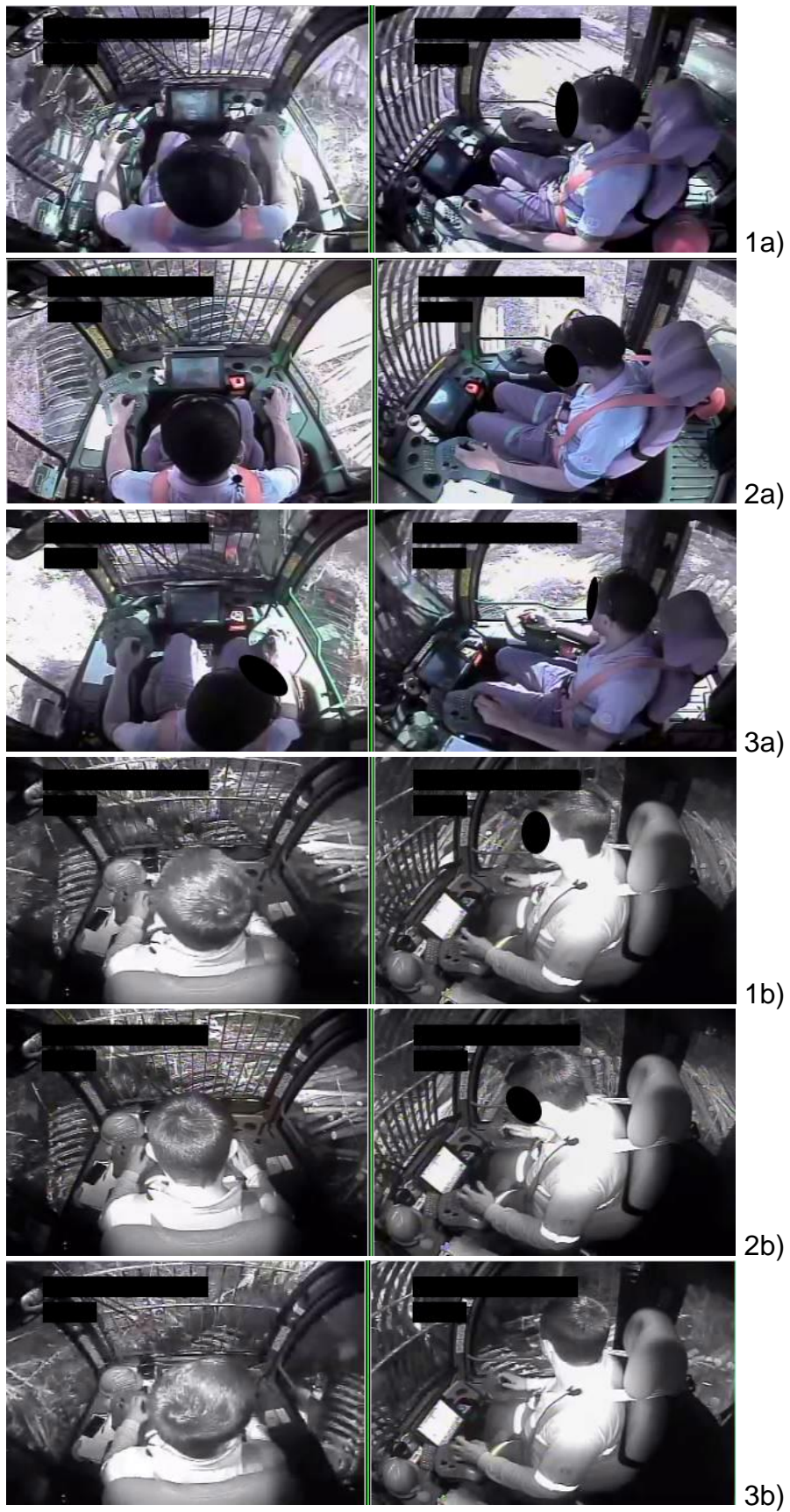


Figura 27. Posturas típicas adotadas pelos operadores no corte com *harvester B* nos períodos de trabalho diurno (a) e noturno (b).

Foram identificadas três posturas típicas dos operadores no corte com o *harvester* 8x8. Na postura 1, o operador ficava sentado com as costas e os antebraços apoiados e pouca inclinação ou torção de cabeça e tronco. Nesta máquina base com rodados de pneus era acoplada uma lança frontal no chassi, com giro independente e sem ligação com a cabine, que possuía tanto possibilidade de rotação como de inclinação.

A diferença da postura 2 comparativamente à 1 se deu pela maior inclinação frontal do operador para observação das informações na tela do computador de bordo da máquina. Já a postura 3 foi caracterizada pela torção lateral de pescoço do operador que, mesmo com a rotação da cabine ativa, necessitava enxergar melhor a região próxima do implemento da máquina nas fases de busca da árvore em pé ou processamento da madeira.

As posturas típicas identificadas para os operadores do *forwarder* estão mostradas na Figura 28.



Figura 28. Posturas típicas adotadas pelos operadores na extração com *forwarder* nos períodos de trabalho diurno (a) e noturno (b).

Foram identificadas duas posturas típicas adotadas pelos operadores no trabalho com o *forwarder*. Na postura 1, observada nas fases em que a máquina estava em deslocamento vazio ou carregada de madeira, os operadores permaneceram sentados com apoio para as costas e antebraços, cabeça voltada para frente e com pouca inclinação frontal e lateral. Na 2, verificada nas fases de carregamento e descarregamento, a diferença ficou por conta da inclinação e rotação lateral da cabeça, necessária para que os feixes de toras a serem carregados ou descarregados permanecessem em seus campos de visão, visto que

as pilhas de toras estavam ao lado da máquina e a cabine não possuía nenhum sistema de rotação.

Todas as posturas típicas foram quantificadas nos percentuais do tempo efetivo das operações em que foram mantidas, além de avaliadas pelo método *Rapid Upper-Limb Assessment* – RULA (McATAMNEY e CORLETT, 1993). As avaliações e seus diagnósticos estão mostrados na Tabela 18. Como pode ser verificado, a pontuação e diagnóstico foram semelhantes para as mesmas posturas entre os turnos diurno e noturno. Em todos os casos, os trabalhadores foram avaliados em situação de ritmo normal de trabalho.

Tabela 18. Avaliação postural dos operadores nas máquinas de colheita.

Sistema	Máquina	Turno	Postura Típica	Tempo efetivo (%)	Pontuação média \pm s	Nível de ação	Diagnóstico
<i>Full tree</i>	<i>Feller buncher</i>	Diurno	1	100	2 \pm 0,52	1	Aceitável se não for mantida ou repetida por longos períodos
		Noturno	1	100	2 \pm 0,45	1	
	<i>Skidder</i>	Diurno	1	77	3 \pm 0,00	2	Necessárias mais investigações e possíveis mudanças
			2	10	3 \pm 0,45	2	
		Noturno	3	13	5 \pm 0,75	3	Necessárias investigações e mudanças rapidamente
			1	76	3 \pm 0,00	2	
Processador	Diurno	1	100	2 \pm 0,39	1	Aceitável se não for mantida ou repetida por longos períodos	
	Noturno	1	100	2 \pm 0,51	1		
<i>CTL</i>	<i>Harvester A (6x6)</i>	Diurno	1	88	3 \pm 0,45	2	Necessárias mais investigações e possíveis mudanças
			2	12	3 \pm 0,29	2	
		Noturno	1	84	3 \pm 0,29	2	
			2	16	3 \pm 0,49	2	
	<i>Harvester B (8x8)</i>	Diurno	1	82	2 \pm 0,45	1	Aceitável se não for mantida ou repetida por longos períodos
			2	8	3 \pm 0,87	2	
Noturno		3	10	4 \pm 0,51	2	Necessárias mais investigações e possíveis mudanças	
		1	82	2 \pm 0,45	1		Aceitável se não for mantida ou repetida por longos períodos
<i>Forwarder</i>	Diurno	2	9	3 \pm 0,72	2	Necessárias mais investigações e possíveis mudanças	
		3	9	4 \pm 0,52	2		
		1	15	2 \pm 0,45	1		Aceitável se não for mantida ou repetida por longos períodos
	Noturno	2	85	4 \pm 0,78	2	Necessárias mais investigações e possíveis mudanças	
		1	19	2 \pm 0,51	1		
		2	81	4 \pm 0,75	2		Necessárias mais investigações e possíveis mudanças

O *feller buncher* apresentou pontuação 2 e nível de ação igual a 1, com categoria mais positiva com base na avaliação pelo RULA. Os braços permaneceram abaixados, sempre entre 20° de extensão a 20° de flexão, os antebraços com 60 a 100° de flexão e suportados pelos apoios do assento, pouca inclinação e rotação de punhos, pescoço com 0 a 10° de inclinação frontal, sem rotação e inclinação lateral, tronco bem apoiado, pernas e pés bem apoiados, sem esforço excessivo para o acionamento dos controles.

Entretanto, o diagnóstico do nível de ação 1 afirma que esta situação postural, devido a ser repetitiva, é aceitável desde que não seja mantida ou repetida por longos períodos de tempo. Como pode ser observado, esta única postura típica representou 100% do tempo efetivo de trabalho, fato considerado indesejável (McATAMNEY e CORLETT, 1993; SILVA *et al.*, 2013). Além disso, a postura sentada por longo período de tempo pode causar alteração na coluna lombar, com maior pressão nos discos intervertebrais e possibilidade de dores frequentes acometerem esta região do corpo (PICOLOTO e SILVEIRA, 2008).

No caso do *skidder*, das três posturas típicas identificadas, a 1 e 2 foram avaliadas com escore 3. Nelas, a caracterização de braços, antebraços, punhos, tronco, pernas, pés e esforço foi a mesma da operação com o *feller buncher*, apenas com a diferença da presença de rotação de pescoço em ambas as situações. Tal fato elevou a pontuação RULA em um ponto. Nesta situação, o nível de ação passou a ser 2, com a necessidade de mais investigações e possíveis mudanças na execução do trabalho para estas posturas, as quais aconteceram em 87% do tempo efetivo de trabalho no turno da manhã e 89% no da noite. Dadas as características da máquina e da operação, sugere-se a mudança do *skidder* para outro que possua rotação de cabine ou do assento em 360 graus.

A postura 3, na qual o operador manteve o corpo voltado à parte de trás da máquina (implemento) e girava a cabeça e o tronco para a frente do *skidder* (extremidade oposta ao implemento), foi considerada mais prejudicial à saúde do trabalhador, classificada com escore 5 pelo método RULA. Ela aconteceu na fase de deslocamento carregado e demandou 13% do tempo efetivo da operação no turno da manhã e 11% no da noite.

Em situação normal, a disposição do assento permite um giro de 100°, onde o operador pode permanecer sempre na posição diagonal em relação ao deslocamento da máquina. Entretanto, com o dispositivo avariado, o operador

permanecia com o banco sempre a cerca de 45° em relação à parte de trás do *skidder*. Nos demais momentos em que o deslocamento se fazia necessário, este acontecia com o banco travado na posição descrita, levando o trabalhador a adotar a postura inadequada por mais de 10% do tempo efetivo de trabalho para poder enxergar seu correto trajeto. Sendo assim, esta foi considerada a pior postura, com exigência de investigações e mudanças rapidamente, de forma a corrigir a postura do trabalho e melhorar as condições de saúde laboral dos operadores.

A dificuldade em enxergar de forma suficiente e adequada o implemento de máquinas de colheita de madeira também foi verificada por Østensvik *et al.* (2008), que relataram que as posturas inadequadas são sincronizadas com os movimentos das mãos e da cabeça, nos quais o operador adotava várias posturas fora da posição neutra. Dul e Weerdmeester (2012) afirmaram que, se há inclinação de tronco e cabeça na posição sentada, o pescoço e as costas usualmente são submetidos às tensões que podem causar dores, além de comprometer o tronco devido à necessidade de girar o corpo com o assento fixo.

O *processador florestal* com rodados de esteiras, lança lateral acoplada à cabine e giro conjunto, possibilitou a identificação de apenas uma postura típica durante o tempo efetivo de operação. Nela, os braços estiveram abaixados, entre 20° de extensão a 20° de flexão, os antebraços com 60 a 100° de flexão e suportados pelos apoios do assento, pouca inclinação e rotação de punhos, inclinação do pescoço entre 0 e 10°, sem rotação e inclinação lateral ou frontal de tronco, sendo que as pernas e os pés estavam bem apoiados e sem esforço excessivo para o acionamento dos controles. Assim como no *feller buncher*, mesmo que a tarefa tenha sido considerada repetitiva, a pontuação RULA foi 2 e o nível de ação foi 1, mas como a postura típica aconteceu durante toda a jornada, esta pode ser considerada aceitável, e medidas devem ser adotadas para que haja sua variação ao longo do turno, como a diversificação de tarefas, a introdução de pausas laborais para recuperação ou até mesmo a redução do ritmo de trabalho.

Mesmo que os operadores estejam expostos a menores desgastes físicos devido à mecanização, assevera-se uma maior exigência física, onde segundo Couto (2002), quando o trabalhador permanece em longos períodos de tempo efetuando o trabalho com a adoção de uma mesma postura estática, pode haver problemas principalmente nas regiões cervical e lombar da coluna vertebral.

No *harvester* 6x6, com rodados de pneus e base da lança acoplada na lateral da cabine (ocasionando giro conjunto de ambos), foram identificadas duas posturas típicas que permaneceram com escore 3. Em ambas, os braços estiveram abaixados, entre 20° de extensão a 20° de flexão, os antebraços com 60 a 100° de flexão e suportados pelos apoios do assento, pouca inclinação e rotação de punhos, sem rotação e inclinação lateral de tronco, com este, as pernas e os pés bem apoiados e sem esforço excessivo para o acionamento dos controles

Na postura 1, que aconteceu em 88% do tempo efetivo de trabalho no turno diurno e 84% no turno noturno, esta inclinação foi menor e ocorreu devido à necessidade do operador sempre manter contato visual com o cabeçote da máquina, que estava sempre próximo ao nível do terreno para realizar a busca, derrubada e processamento da árvore. Na postura 2, o pescoço apresentava maior inclinação devido ao operador necessitar visualizar as informações na tela do computador de bordo do *harvester*. Para ambas as posturas típicas, o nível de ação recomendado pelo método foi 2, com necessidade de maiores investigações e possíveis mudanças no trabalho.

O *harvester* 8x8 com rodados de pneus, lança frontal acoplada ao chassi, com giro independente e sem ligação com a cabine, possibilitou a identificação de três posturas típicas. Em todas, os braços dos operadores estavam abaixados, entre 20° de extensão a 20° de flexão, os antebraços com 60 a 100° de flexão e suportados pelos apoios do assento, pouca inclinação e rotação de punhos, inclinação do pescoço entre 0 e 10°, sem rotação e inclinação lateral ou frontal de tronco, com as pernas e os pés bem apoiados, sem esforço excessivo para o acionamento dos controles mas com presença de movimentos repetitivos.

Na postura 1, que aconteceu em 82% do tempo efetivo em ambos os turnos, a manutenção por elevado período de tempo ocasionou o escore 2 pelo método RULA. Assim, o nível de ação ficou em 1 e a postura seria aceitável se não fosse mantida ou repetida por longos períodos. Portanto, devem ser observadas medidas preventivas como a introdução de pausas de recuperação para que a postura seja modificada mais vezes no decorrer da jornada.

A postura 2, observada em 8% do tempo efetivo no turno diurno e em 9% no período noturno foi semelhante à postura 1, com o agravante da inclinação frontal do pescoço para que o operador visualizasse as informações na tela do computador de bordo da máquina. Esta situação elevou o escore RULA para 3 e o nível de ação

para 2, indicativo da necessidade de mais investigações e possíveis mudanças no trabalho.

Como alternativa a ser utilizada tanto para o *harvester* A como para o B, pode-se citar a alteração do posicionamento da tela do computador de bordo para uma altura maior em relação ao painel das máquinas, com possibilidade de deslocamento lateral, desde que não obstrua o campo de visão do operador. Outra possibilidade para melhorar esta postura encontrada em ambos os *harvesters* estudados é a utilização da tecnologia *Head-Up Display* (HUD), que consiste em um painel digital que projeta informações diretamente no para-brisa, de modo a evitar tanto a inclinação de pescoço como a necessidade do operador retirar sua visão da direção de operação. Apesar de ser utilizada em aeronaves, foram os estudos da década de 80 que começaram a avaliar sua aplicabilidade em automóveis (SWIFT e FREEMAN, 1986). Pesquisas do Skogforsk (JÄRRENDAL e TINGGÅRD DILLIKÅS, 2006; LUNDIN *et al.*, 2005) testaram o Head-up Display (HUD) como uma alternativa para *harvesters* e apresentaram resultados satisfatórios.

A postura 3, além das mesmas características da 1, foi considerada a pior e com o escore mais elevado, com 4 pontos. Esta postura ocorreu em 10% do tempo efetivo no turno diurno e 9% no noturno, diferenciando-se das demais por apresentar rotação e inclinação lateral de pescoço. Isto ocorreu para que o operador conseguisse enxergar melhor a região do cabeçote da máquina. Mesmo com os dispositivos de rotação e nivelamento de cabine ativados, a posição da lança na frente da máquina obstruía a visão dos operadores em determinados momentos nos quais necessitavam realizar a tarefa com maior precisão, como no caso do acoplamento do cabeçote à base da árvore a ser derrubada e da organização das pilhas de madeira processada. Mesmo com escore mais elevado, o nível de ação permaneceu em 2, com exigência de mais investigações para possíveis mudanças.

Uma alternativa para melhorar a postura 3 poderia ser a utilização apenas de *harvesters* que não possuem lança frontal, pois foi evidente que a sua localização na máquina prejudicou a postura dos operadores, obrigando-os a adotarem posições lesivas em torno de 10% do tempo efetivo de trabalho. Nota-se que no *harvester* 6x6 tal postura não foi observada devido à lança ser acoplada na lateral da cabine e realizar rotação simultânea desta com aquela.

Na operação com *forwarder* foram encontradas duas posturas típicas, sendo a postura 1 nas fases de deslocamento da máquina (vazio ou carregado), e a

postura 2 nas fases em que a máquina estava executando as atividades parciais de carregamento e descarregamento da madeira. Em ambas as posturas, os braços dos operadores ficaram para baixo, entre 20° de extensão a 20° de flexão, os antebraços com 60 a 100° de flexão e suportados pelos apoios do assento, pouca inclinação e rotação de punhos, inclinação do pescoço entre 0 e 10°, sem rotação e inclinação lateral ou frontal de tronco, com ele, as pernas e os pés bem apoiados e sem esforço excessivo para o acionamento dos controles.

Na postura típica 1, a pontuação RULA permaneceu em 2 devido ao operador realizar movimentos repetitivos, mas o nível de ação ficou em 1. Sendo assim, por não ter sido mantida ou repetida por longos períodos (15% do tempo efetivo no turno da manhã e em 19% no da noite), esta foi a única postura considerada aceitável dentre todas as máquinas estudadas.

A postura 2, observada em 85% do tempo efetivo no turno diurno e em 81% noturno foi classificada com escore 4, devido à presença de rotação e inclinação do pescoço. Como a máquina não possuía rotação de cabine, havia por parte do operador grande dificuldade em enxergar os feixes de toras dispostas sobre o terreno no momento do carregamento ou nas pilhas de madeira às margens da estrada durante o descarregamento. Isto fazia com que os operadores volvessem seus pescoços em posições inadequadas e as mantivessem por longos períodos de tempo nesta tarefa que exige precisão de realização (Figura 29).



Figura 29. Postura inadequada do operador do *forwarder*.

Assim, o nível de ação da postura 2 ficou em 2, com exigência de maiores investigações e a possibilidade de mudanças nos procedimentos de trabalho. Uma opção poderia ser a substituição do *forwarder* utilizado por outro modelo que possua possibilidade de rotação e nivelamento da cabine, de forma a direcionar o campo de

visão sempre para a sua frente. No curto prazo, mostra-se fundamental a alteração do procedimento de trabalho de forma que o operador não colete as pilhas de toras que o obriguem a manter elevada rotação de cabeça, devendo trabalhar apenas com aquelas localizadas mais próximas da caixa de carga e menos da cabine.

Em um estudo ergonômico realizado na Rússia em diversas máquinas florestais, identificou-se que um dos *forwarders* em questão também levava o operador a adotar posturas inadequadas devido à pouca possibilidade de ajustes no assento, enquanto que outro possibilitou melhor visibilidade na direção da operação foi classificado como confortável e adequado à tarefa (GERASIMOV e SOKOLOV, 2014). Assim, mostra-se que a direção de operação é de extrema importância para o trabalho a ser realizado, pois, além de exigir maior precisão do trabalhador, é necessário que haja uma apropriada condição para a correta postura laboral de forma a evitar possíveis lesões músculo tendinosas no pescoço ou problemas na coluna cervical.

3.7 Ângulos de visibilidade

Os valores médios obtidos neste estudo estão mostrados na Tabela 19, sendo possível observar que os piores valores de visibilidade lateral foram encontrados nas máquinas de extração da madeira.

Tabela 19. Ângulos médios de visibilidade observados nas máquinas dos sistemas *Full tree* e *Cut to length*.

S	Máquina	AT	Cabine		LL	Frontal (°)		p-valor	Lateral (°)		p-valor
			D	R		Diurno	Noturno		Diurno	Noturno	
Full tree	<i>Feller buncher</i>	3,7	1,8×1,0×1,9	Sim	Lateral	14 ± 5	8 ± 3	0,0019	8 ± 2	6 ± 3	0,1515
	<i>Skidder</i>	3,2	1,6×1,0×1,8	Não	Frontal	10 ± 2	13 ± 3	0,0163	38 ± 10	43 ± 14	0,3247
	Processador	3,6	1,8×1,0×1,9	Sim	Lateral	9 ± 2	9 ± 2	0,6933	9 ± 2	7 ± 2	< 0,0001
CTL	<i>Harvester A</i>	3,9	1,1×1,1×2,0	Sim	Lateral	15 ± 4	14 ± 4	0,9153	8 ± 3	10 ± 5	0,2049
	<i>Harvester B</i>	4,2	2,0×1,5×2,1	Sim	Frontal	11 ± 3	9 ± 1	0,0428	8 ± 2	9 ± 3	0,1766
	<i>Forwarder</i>	4,0	0,9×1,1×2,0	Não	Frontal	12 ± 7	10 ± 3	0,5391	31 ± 6	31 ± 3	0,9034

S = sistema; AT = altura total da máquina (m); D = dimensões: comprimento × largura × altura (m); R = rotação de cabine; LL = localização da lança em relação à cabine, no sentido longitudinal da máquina; nível de significância de 5%.

No sistema *full tree*, o *feller buncher* apresentou no período diurno a segunda maior média de inclinação frontal, com 14 ± 5 graus, sendo estatisticamente

diferente em relação ao período noturno, quando foi observada uma média de 8 ± 3 graus. Para angulação lateral, as médias diurna e noturna foram de 8 ± 2 e 6 ± 3 graus, sem diferença significativa.

Pode-se notar que, os ângulos médios no plano sagital foram maiores em relação ao plano transversal em seus respectivos pares nos dois períodos de trabalho estudados. Isso ocorreu pelo fato de a cabine da máquina possuir um giro em torno de seu próprio eixo e a lança com acoplamento lateral, de forma a deixar a vista frontal sempre direcionada ao implemento e sem obstrução pela grua no momento de giro. Os valores de inclinação frontal podem ser oriundos tanto da necessidade de enxergar a operação próxima do solo como da adoção de posições diferenciadas para quebrar a postura sentada estática (prejudicial no longo prazo) e a monotonia da operação repetitiva.

O *skidder* apresentou os maiores valores médios de angulação lateral em relação à frontal, sendo considerada a pior máquina neste quesito. Enquanto na frontal os períodos diurno e noturno apresentaram 10 ± 2 e 13 ± 3 graus (com diferença estatística), na lateral demonstrou 38 ± 10 e 43 ± 14 graus (sem diferença estatística) para ambos os turnos, respectivamente. Observa-se que esta máquina possuía lança frontal (em relação à operação) e sua cabine não possuía dispositivo de rotação, fatores que levaram o operador a adotar posturas inadequadas devido às dificuldades para enxergar a garra (pinça hidráulica) e realizar a suspensão da base dos feixes de árvores dispostos no talhão, bem como realizar os deslocamentos, as manobras, e a descarga da madeira. Tal fato pode ser confirmado pelo próprio Skogforsk (1999), onde afirma que o problema de visibilidade se torna grave quando o operador necessita seguir o movimento da lança a partir de uma cabine fixa, agravado caso o operador deva girar muito a cabeça para poder melhor visualizar a área de trabalho.

Com operação de pouca alternância postural, o *processador florestal* foi a máquina que apresentou os valores com menor variação para ambas as classes de angulação. Para a visão frontal, foram observadas médias de 9 ± 2 graus em ambos os turnos de trabalho, enquanto a lateral apresentou 9 ± 2 graus no período diurno e 7 ± 2 graus no noturno. Assim como o *feller buncher*, esta máquina de esteiras também possuía lança com acoplamento lateral na cabine, mantendo o operador sempre na direção frontal, que é utilizada em todas as etapas da operação de processamento dos feixes em toras de diferentes sortimentos na margem da

estrada. A boa visibilidade na cabine das máquinas de colheita da madeira, segundo Skogforsk (1999), é essencial para que o operador possa manter um alto nível de produtividade e boas condições de saúde ocupacional.

No sistema *cut to length*, o *harvester* 6x6 apresentou o maior valor médio de angulação frontal dentre todas as máquinas, com 15 ± 4 para o período diurno e 14 ± 4 no noturno. As médias laterais permaneceram em 8 ± 3 e 10 ± 5 para ambos os períodos, respectivamente, e em nenhum caso foi observada diferença estatística entre os turnos de trabalho. A maior angulação frontal se deveu tanto à necessidade de enxergar a operação como de monitorar e interpretar as informações da tela do computador de bordo, posicionada pouco acima do painel frontal e abaixo do nível dos olhos do operador. Tal situação poderia ser corrigida tanto por meio da realocação desta em local mais elevado com melhor visualização, desde que não comprometa a visibilidade da operação. Outra possibilidade é a instalação de projeções digitais das informações da tela no próprio para-brisa frontal, por meio da tecnologia *Head-Up Display* (HUD), de forma a beneficiar tanto a melhoria da visibilidade quanto as posturas adotadas pelos operadores.

O *harvester* 8x8, apesar de possuir maior altura total e dimensões de cabine em relação ao *harvester* 6x6, apresentou menores valores médios de inclinação frontal e lateral. Com 11 ± 3 e 9 ± 1 graus para a frontal nos períodos diurno e noturno (com diferença estatística) e 8 ± 2 e 9 ± 3 para a lateral em ambos os turnos (sem diferença estatística), a maior diferença está na angulação frontal. Isto significa que a operação com o *harvester* 8x8, de maior porte e com grua frontal, propicia as melhores condições de visibilidade para a execução da operação no nível do piso florestal. Além disso, há melhor visibilidade das informações na tela do computador de bordo da máquina, também localizada logo acima do painel em frente ao operador, mas abaixo de sua linha de visão da operação. Esta diferença se tornou mais perceptível no turno da noite, onde a inclinação frontal foi, em média, 4 graus menor nesta máquina, provavelmente devido à maior facilidade de leitura da tela no período noturno. Mesmo assim, as observações de mudança de local da tela ou do sistema de projeção das informações realizadas para o *harvester* 6x6 também se adequam a esta máquina, dada a necessidade de reduzir, sempre que possível, posturas em angulações desconfortáveis e possivelmente lesivas.

Assim como no *full tree*, a máquina de extração da madeira do sistema *cut to length* (*forwarder*) foi a que apresentou os piores resultados médios de angulação

lateral, demonstrando que o gargalo desta classe de visibilidade está nesta operação. Observou-se as angulações frontais no *forwarder* de 12 ± 7 graus para o turno diurno e 10 ± 3 graus para o noturno, enquanto que as laterais atingiram as médias de 30 ± 6 e 30 ± 3 graus para os respectivos períodos, entretanto sem terem apresentado diferença estatística.

É comprovado que o maior percentual do ciclo operacional desta máquina é composto pelas fases de carregamento da madeira disposta no interior do talhão e seu posterior descarregamento na margem da estrada ou em pátios intermediários (OLIVEIRA *et al.*, 2009; SIMÕES e FENNER, 2009; LEITE *et al.*, 2014). Nesta situação, a lança e a garra passam muito tempo na direção lateral da máquina, e como o *forwarder* deste estudo não possuía rotação de cabine, os operadores necessitavam girar a cabeça com frequência para acompanhar a operação. Neste caso, cabe a mesma explicação da situação do *skidder*, no qual o Skogforsk (1999) relata que os problemas de visibilidade são agravados quando o operador necessita seguir o movimento da lança a partir de uma cabine fixa.

As angulações médias encontradas e os respectivos limites recomendados para um trabalho saudável estão mostrados nas Figuras 30 e 31. Como pode ser observado, o limite médio recomendado para trabalho normal (angulação máxima a ser respeitada na maior parte da jornada de trabalho) foi ultrapassada apenas na orientação lateral e nas máquinas de extração da madeira.

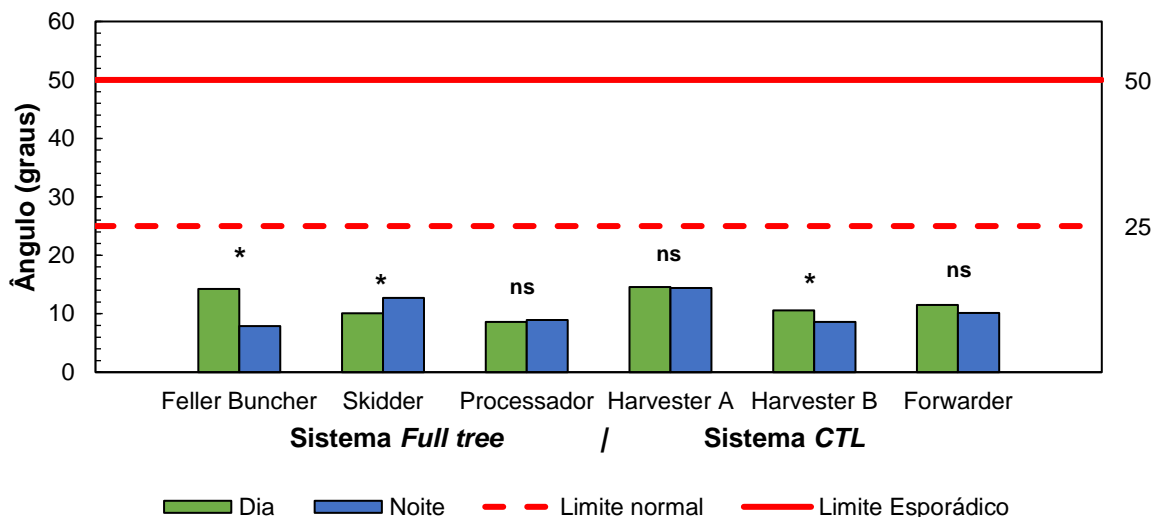


Figura 30. Valores médios de angulação no plano sagital obtidos na avaliação dos ângulos de visibilidade.

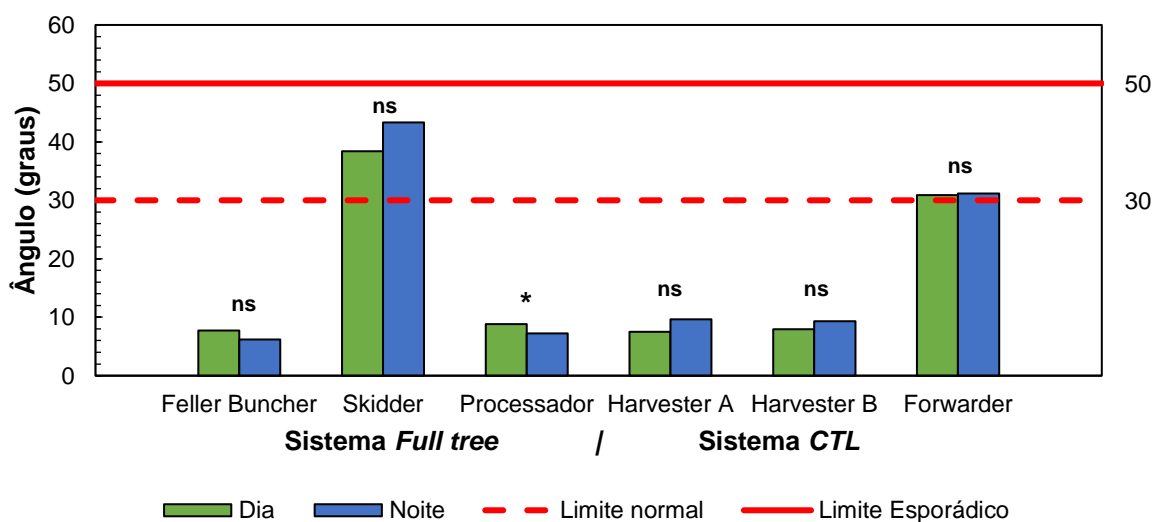


Figura 31. Valores médios de angulação no plano transversal obtidos na avaliação dos ângulos de visibilidade.

Como pode ser observado, dentre todas as máquinas estudadas, aquelas que apresentaram as melhores condições de visibilidade foram as que possuíam giro em torno de seu próprio eixo e lança com acoplamento lateral, de modo a deixar a visão frontal das máquinas livre de qualquer obstrução, como o *feller buncher*, o processador e o *harvester 6x6*. Outra máquina que apresentou bons resultados foi o *harvester 8x8*, pois apesar de possuir lança com acoplamento frontal, era provido de sistema de rotação da cabine, na qual a lança obstruía a

visão apenas em pequenos momentos do giro, refletindo em uma baixa média de angulação no plano sagital ou rotação de cabeça.

Entretanto, o *skidder* e o *forwarder* ultrapassaram, em média, a angulação lateral de 30 graus, considerada pelo Skogforsk (1999) como limite máximo para a maior parte da jornada de trabalho. Tal situação coloca os operadores em risco devido à manutenção de posturas ergonomicamente incorretas e prejudiciais à saúde para que possam enxergar melhor a região de trabalho do implemento ou da trilha de tráfego das máquinas.

Em um estudo com operadores de *harvesters* e *forwarders* na Suécia, em torno de 9% apontaram a visibilidade como uma das deficiências das máquinas que operavam (SYNWOLDT e GELLERSTEDT, 2003). Na Nova Zelândia não foi diferente, e profissionais da área também relataram a importância de se melhorar a visibilidade e o controle para os operadores das máquinas por meio do uso de câmeras e equipamentos sensores, particularmente porque os operadores não conseguem ver encostas em declives mais íngremes e dependem de comunicações de rádio para poderem trabalhar com segurança nestes locais (BAYNE e PARKER, 2012). Em determinados casos, pode-se utilizar um espelho ou uma câmera de vídeo para conseguir melhor visão da área de trabalho (SKOGFORSK, 1999).

Assim, foi constatado que muito ainda precisa ser feito em termos de melhoria na visibilidade das operações de colheita da madeira, seja para enxergar a operação propriamente dita, as informações na tela do computador de bordo ou até mesmo obstáculos no terreno. Devido à dificuldade presente nestas operações, deve-se evitar situações que podem comprometer o conforto, a segurança e a saúde dos operadores, bem como o desempenho global das operações florestais.

4 CONCLUSÕES

A partir das análises e da discussão dos resultados, foi possível chegar nas seguintes conclusões:

- Os maiores valores de vibração foram verificados em ambas as máquinas de extração (*skidder* e *forwarder*) no momento de seus deslocamentos pelo talhão, causados possivelmente pelas condições irregulares do terreno.
- Todas as máquinas apresentaram níveis de vibração acima do limite aceitável pelas normas regulamentadoras, evidenciando, portanto, a necessidade de adoção de medidas ergonômicas preventivas, tais como, redução da pressão dos pneus e redução da velocidade operacional no deslocamento.
- O *skidder* na operação de arraste causou os maiores problemas em relação à vibração, ultrapassando o limite de exposição em relação à aceleração média e dose média diária, indicando necessidade de correções imediatas.
- Os maiores valores de ruído foram verificados no *skidder*, máquina que se apresentava ao final de sua vida útil e, estando em condições de conservação inadequadas em relação à vedação da cabine, ultrapassou o limite de exposição, necessitando medidas corretivas imediatas.
- Nenhuma das máquinas de colheita da madeira estudadas ultrapassou o limite de ação recomendado pela legislação para a variável ruído, não sendo necessária a adoção de medidas corretivas, porém deve ser realizado o monitoramento frequente dos níveis de ruído devido à proximidade dos valores com o limite.
- Foi verificada a ocorrência de conforto acústico no turno diurno apenas no *feller buncher* e no *harvester* 8x8, e no período noturno no *processador florestal* e no *harvester* 6x6, sendo que as demais necessitam de melhor acompanhamento devido às operações necessitarem de exigências intelectuais.

- Todas as máquinas de colheita da madeira permaneceram dentro da zona de conforto térmico recomendada pela legislação com relação ao calor ambiente, em ambos os turnos estudados, porém nos postos de trabalho do *skidder* e do *forwarder*, observou-se os maiores valores de amplitude térmica entre os períodos diurno e noturno, dado que as máquinas estão expostas à luz solar direta na maior parte do período de trabalho.
- Todas as máquinas estudadas apresentaram níveis de iluminância na zona de trabalho acima dos valores mínimos aceitáveis pela legislação, não sendo necessária a adoção de medidas ergonômicas corretivas, todavia, o *skidder* apresentou valores mais próximos do limite mínimo recomendado, com necessidade de atenção, pois no caso da falha de algum de seus pontos de luz, a máquina pode operar em estado crítico.
- Dada à alta taxa de movimentos repetitivos, o *processador florestal* foi a única máquina que em ambos os turnos de trabalho ultrapassou o limite de incerteza e que mais se aproximou da zona de alto risco de lesão, com necessidade de prevenção.
- Nenhuma das máquinas estudadas permaneceu no limite considerado seguro, por isso são necessárias, no mínimo, medidas preventivas visando à redução dos movimentos repetitivos em todas elas, como redução do ritmo de trabalho ou o uso de joysticks que proporcionem menor repetitividade.
- As melhores posturas adotadas pelos operadores foram encontradas na operação com *feller buncher* e *processador florestal*, sendo ambas máquinas com rodados de esteiras, grua com acoplamento lateral e giro em torno de seu próprio eixo, características que evitaram desvio postural extremo.
- As posturas adotadas pelos operadores do *skidder* na operação de arraste estavam inadequadas pois, além da rotação de pescoço, observou-se rotação do tronco com inclinação lateral e frontal, somados a desvio de punhos da linha neutra.

- Foram observadas algumas posturas que podem ser lesivas no trabalho com o *forwarder* pois, como esta máquina não possuía sistema de rotação de cabine, o operador mantinha o pescoço torcido e inclinado por elevado tempo durante as etapas de carregamento e descarregamento da madeira.
- Nenhuma das máquinas estudadas apresentou problemas de angulação média no plano sagital que compromettesse a visibilidade dos operadores na execução das operações.
- Ambas as máquinas de extração apresentaram problemas de visibilidade em relação ao plano lateral, onde o operador necessitava girar a cabeça para enxergar melhor a região de trabalho, principalmente nas etapas de carregamento e descarregamento da madeira.
- O *feller buncher*, o *processador florestal* e o *harvester* de pneus 6x6 foram as máquinas com melhores condições de visibilidade, principalmente por possuírem cabine que executava giro em torno de seu próprio eixo e lança de acoplamento lateral, proporcionando visão frontal sem obstrução.

CAPÍTULO II

GRAU DE CONFORMIDADE ERGONÔMICA EM MÁQUINAS DE COLHEITA DA MADEIRA

RESUMO: Os estudos sobre ergonomia em operações florestais são realizados abordando as variáveis ergonômicas de forma isolada, com cada avaliação apontando os resultados em uma escala específica. Objetivou-se neste estudo propor um indicador ergonômico com classificação de acordo com a urgência de intervenção em operações de colheita da madeira, visando uma maior praticidade de aplicação. Os dados foram obtidos a partir de avaliações ergonômicas em *feller buncher*, *skidder*, *processador florestal*, *harvesters* e *forwarder*, em dois turnos de trabalho (diurno e noturno) na colheita de madeira em uma empresa localizada no estado do Paraná. Foram avaliadas a vibração média por meio da aceleração resultante à exposição normalizada (aren) e o valor da dose de vibração resultante (VDVR) para 8 horas, o Nível de Exposição Normalizado (NEN) ao ruído, o *Strain Index* (SI) para a repetitividade, a severidade postural pelo *Rapid Upper Limber Assessment* (RULA), o IBUTG (Índice de Bulbo Úmido e Termômetro de Globo) para a exposição ao calor, a iluminância e os ângulos de visibilidade nos planos sagital e lateral pelos métodos do *Skogforsk*. A padronização dos resultados foi realizada por meio da adaptação do método do Grau de Conformidade (V) ergonômica da situação em estudo com relação às normas preestabelecidas pela legislação, devendo possuir valor entre 0 e 1, sendo quanto maior o valor, maior a conformidade com as efetivas normas e diretrizes. Em seguida, foi proposta uma classificação do grau de urgência ergonômica a partir de uma escala de cores distintas. Os resultados mostraram que o *skidder* na operação de arraste foi a máquina com os piores graus de conformidade ergonômica, necessitando de medidas corretivas emergenciais, com destaque para as vibrações, com grau de conformidade entre 0,0 e 0,1, ruído com 0,2 e visibilidade no plano lateral com 0,0, destacando ainda como problemas observados os choques e solavancos no deslocamento e a dificuldade de visibilidade da operação pelo operador. A máquina com o melhor desempenho ergonômico foi o *processador florestal*, não havendo nenhuma emergência a ser tomada, porém devem ser considerados alguns cuidados em relação à dose diária de vibração e ao ruído em ambos os turnos de trabalho. A classificação dos resultados de acordo com uma escala de cores favoreceu a interpretação dos indicadores e a sua aplicação prática nas intervenções ergonômicas corretivas.

Palavras-chave: Desempenho ergonômico, máquinas florestais, qualidade de vida.

ABSTRACT: *Studies about ergonomics in forest operations are carried out by approaching the ergonomic variables in isolation, with each evaluation pointing the results on a specific scale. The objective of this study was to propose an ergonomic indicator with classification according to the urgency of intervention in wood harvesting operations, aiming at a greater practicality of application. The data were obtained from ergonomic evaluations in feller buncher, skidder, forest processor, harvesters and forwarder, in two shifts (diurnal and nocturnal) working in the wood harvest in a company located in the state of Paraná, Brazil. The vibration was evaluated by the resulting acceleration at normalized exposure (aren) and the resulting vibration dose value (VDVR) for 8 hours, the Standard Exposure Level (NEN) to noise, the Strain Index (SI) for repeatability, postural severity by Rapid Upper Limber Assessment (RULA), IBUTG (Wet Bulb and Globe Thermometer Index) for exposure to heat, illuminance and angles of visibility in the sagittal and lateral planes by Skogforsk methods. The standardization of the results was carried out by adapting the ergonomic Degree of Compliance (V) method of the study situation in relation to the norms established by the legislation, having a value between 0 and 1, and the higher the value, the greater the compliance with the effective norms and guidelines. Next, a classification of the degree of ergonomic urgency was proposed from a different color scale. The results showed that the skidder in the operation was the machine with the worst degrees of compliance, requiring emergency corrective measures, with emphasis on vibrations, with a degree of conformity between 0.0 and 0.1, noise with 0.2 and visibility in the lateral plane with 0.0, also highlighting as problems observed the shocks and bumps in the displacement and the difficulty of visibility of the operation by the operator. The machine with the best ergonomic performance was the forest processor, with no emergency to be taken, but some care should be taken regarding the daily dose of vibration and noise in both work shifts. The classification of the results according to a color scale favored the interpretation of the indicators and their practical application in corrective ergonomic interventions.*

Key words: *Ergonomic performance, forest machines, quality of life.*

1 INTRODUÇÃO

O aumento da mecanização nas operações florestais é facilmente perceptível nas últimas décadas, ocorrendo de forma significativa nas pequenas, médias e grandes empresas. Como benefícios desta mudança tecnológica, pode-se citar o aumento da produtividade, a redução do custo de produção, a melhoria na qualidade do produto e das condições ergonômicas, pois os trabalhadores estão menos expostos ao excesso de força física, de condições desfavoráveis do terreno e climáticas, etc. Entretanto, apesar dos benefícios adquiridos a partir do aumento da mecanização nas operações florestais e o uso de máquinas modernas e de elevada tecnologia, surgiram novos problemas nos seus postos de trabalho, como a ocorrência de movimentos repetitivos, posturas inadequadas, vibração e sonolência.

Dentre os problemas mais frequentes observados nos postos de trabalho de máquinas florestais podem ser citadas as injúrias no pescoço, braço, coluna cervical e lombar, causadas, principalmente, pelos excessivos períodos que os operadores permanecem na posição sentada e de forma estática ou com poucos movimentos, que são posições ergonomicamente inapropriadas (GERASIMOV e SOKOLOV, 2014).

Em estudo com cerca de 100 operadores de *harvester* e *forwarder* foi verificado que em torno de 63% apresentaram sintomas osteomusculares com características compatíveis com lesões por esforços repetitivos (LERs) ou distúrbios osteomusculares relacionados ao trabalho (DORTs), causando dor e desconforto, principalmente nas regiões dos pulsos e das mãos, costas, região lombar, ombros e pescoço (SILVA *et al.*, 2014). Outro fato a ser considerado é que muitas vezes são usadas máquinas adaptadas ou importadas de países com operadores que possuem diferentes características antropométricas (FONTANA e SEIXAS, 2007). Portanto, apesar da modernização das máquinas de colheita da madeira, faz-se necessária a realização de novos estudos ergonômicos visando identificar a existência de possíveis problemas em relação às posturas corporais e aos movimentos repetitivos realizados pelos operadores no posto de trabalho. Isto possibilitará a tomada de decisão para a melhoria das condições de trabalho, prevenção de acidentes e afastamentos e, conseqüentemente, maior conforto, segurança, saúde e qualidade de vida dos operadores florestais.

Contudo, grande parte dos estudos de ergonomia em operações florestais mecanizadas são realizados de forma isolada, abordando uma ou poucas variáveis específicas, além de não haver a correlação entre tais variáveis que podem influenciar as condições ergonômicas. Apesar de sua relevância, as avaliações ergonômicas realizadas de forma isolada podem dificultar a tomada de decisão sobre qual área deve ser priorizada em um tratamento ergonômico. Além disso, cada variável é comumente estudada em uma unidade específica, como ruído em decibéis, espaço da cabine em centímetros, ângulos de visibilidade em graus, etc. Desta forma, há maior exigência e complexidade na interpretação de resultados, dependente do conhecimento de todas as normas para a tomada de decisão.

Por isso, a proposição de um novo método que correlacione as diversas variáveis ergonômicas de forma simultânea por meio de um indicador ergonômico poderá preencher esta lacuna. Além do mais, também poderá contribuir com a tomada de decisão sobre qual variável deve ser priorizada em um tratamento ergonômico corretivo. Se tal escala for passível de classificação em graus de urgência, então sua aplicabilidade poderá ser mais efetiva e seu entendimento ser menos complexo e mais abrangente.

Diante disso, objetivou-se propor um indicador ergonômico com classificação de acordo com a urgência de intervenção em operações de colheita da madeira, visando uma maior praticidade de aplicação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Cálculo dos Graus de Conformidade

A padronização dos resultados das variáveis ergonômicas foi realizada por meio do método do Grau de Conformidade (V) ergonômica da situação em estudo, obtida com base em normas preestabelecidas pela legislação e na descrição de Frumkin *et al.* (1999). Os limites considerados para o cálculo dos indicadores ergonômicos estão mostrados no Quadro 6. Foi utilizado os limites críticos para cada variável ergonômica de acordo com seu respectivo método ou norma.

Quadro 6. Limites utilizados no cálculo do Indicador Ergonômico.

Dado avaliado	Tipo do Limite	Valor	Método ou Norma
Vibração média do corpo inteiro	Máximo	1,1 m/s ²	NHO 09
Dose de vibração do corpo intero	Máximo	21 m/s ^{1,75}	NHO 09
Ruído	Máximo	85 dB (A)	NR 15
Exposição ao calor	Máximo	IBUTG = 30	NR 15
Iluminância	Mínimo	120 lux	Skogforsk (1999)
Repetitividade	Máximo	SI = 7	<i>Strain index</i>
Posturas	Máximo	Pontuação = 7	RULA
Ângulo sagital de visibilidade	Máximo	25 graus	Skogforsk (1999)
Ângulo lateral de visibilidade	Máximo	30 graus	Skogforsk (1999)

Neste estudo foi proposta a utilização do utilizar o grau de conformidade (V) (FRUMKIN *et al.*, 1999) como o próprio indicador ergonômico, mas, diferente de Gerasimov e Sokolov (2009 e 2014) e também de Marzano *et al.* (2017), que utilizaram dados qualitativos em seus estudos, sugere-se o uso apenas de variáveis que possam ser quantificadas direta ou indiretamente.

Cada indicador poderia possuir um valor entre 0 e 1, onde quanto maior o valor, maior a conformidade ergonômica da atividade com as efetivas normas e diretrizes. No caso de o valor ter sido igual a 1, a variável ergonômica era considerada como conforme, enquanto valores negativos deveriam ser igualados a zero (Tabela 20).

Tabela 20. Conformidade com normas e diretrizes.

Classificação	Índice Obtido
Conforme	≥ 1
Não conforme	< 1

Fonte: Adaptado de Frumkin *et al.* (1999).

2.2 Classificação dos Graus de Conformidade pela urgência de intervenção ergonômica

Para classificar a conformidade ergonômica em diferentes classes de urgência na intervenção, alterou-se a análise do método de Frumkin *et al.* (1999) para obter as tendências de ação mais detalhadas. Foi, então, proposta a divisão do V em mais classes, conforme o valor se afastasse de 1, de acordo com o Quadro 7.

Quadro 7. Urgência de necessidade de intervenção de acordo com o Grau de Conformidade (V).

Índice Obtido	Necessidade de Intervenção Ergonômica
1,0	Sem necessidade
0,9	Pouco urgente
0,8 a 0,7	Urgente
Menor que 0,7	Emergência

Além disso, para facilitar a identificação visual, utilizou-se uma cor para representar cada necessidade de intervenção ergonômica. As quatro categorias estão mostradas no Quadro 8.

Quadro 8. Classificação de necessidade de intervenção ergonômica por cores.

Necessidade de Intervenção Ergonômica	Cor Associada	Necessidade de Intervenção Ergonômica e Respectiva Cor Associada
Sem necessidade	Verde	Sem necessidade
Pouco urgente	Amarelo	Pouco urgente
Urgente	Laranja	Urgente
Emergência	Vermelho	Emergência

Como o intuito das cores é sua associação com a urgência na necessidade de ação, fez-se um paralelo com a área da saúde e foi utilizada neste método a mesma sequência de cores do Sistema de Triagem de Manchester, com a exclusão apenas da cor azul. Assim, a classificação “sem necessidade” pode ser representada pela cor verde, a “pouco urgente” pela amarela, a “muito urgente” pela laranja e a “emergência” pela vermelha.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cálculo dos Graus de Conformidade

A avaliação das máquinas de colheita da madeira com os seus Graus de Conformidade (V) calculados para os períodos diurno e noturno estão mostrados na Tabela 21.

Tabela 21. Graus de Conformidade (V) calculados para as máquinas de colheita da madeira.

Sistema	Máquina	Período	VM	DV	Ru	C	I	Re	P	VS	VL
Full tree	<i>Feller buncher</i>	Diurno	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0
		Noturno	0,8	0,8	0,5	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Skidder</i>	Diurno	0,0	0,0	0,2	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,0
		Noturno	0,0	0,1	0,2	0,9	0,6	1,0	1,0	1,0	0,0
Processador	Diurno	1,0	0,8	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	Noturno	0,9	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
CTL	<i>Harvester A (6x6)</i>	Diurno	0,6	0,5	0,6	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0
		Noturno	0,9	0,9	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0
	<i>Harvester B (8x8)</i>	Diurno	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		Noturno	1,0	0,9	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
<i>Forwarder</i>	Diurno	0,7	0,5	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,2	
	Noturno	0,8	0,4	0,6	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,3	

VM = vibração média; DV = dose diária de vibração; Ru = ruído; Re = repetitividade; P = postura; C = Exposição ao calor; I = iluminância; VS = ângulo de visibilidade no plano sagital; e VL = ângulo de visibilidade no plano lateral.

No sistema *full tree*, o *feller buncher* apresentou o pior valor na variável ruído, com grau de conformidade (V) de 0,5 no período noturno, seguido do ruído no período diurno e com média de dose diária de vibração noturna de 0,8. Ainda consideradas abaixo do ideal e necessitando de medidas corretivas, podem ser observadas pequenas inconsistências em relação à vibração e visibilidade no plano sagital do período diurno, além da iluminância no turno da noite e calor em ambos os períodos, com grau de conformidade de 0,9.

O *skidder* foi a máquina que apresentou maior quantidade de inadequações do ponto de vista ergonômico, com grau de conformidade (V) igual a 0 (zero) nas variáveis vibração e visibilidade lateral em ambos os turnos de trabalho, além da

elevada dose de vibração no turno diurno. Em seguida, com 0,1, ficou a dose de vibração noturna e com 0,2 o ruído em ambos os turnos. Tais valores caracterizam situações extremas, onde o limite permitido foi ultrapassado como elevada severidade. Em menor grau de severidade, mas ainda consideradas não conformes, mantiveram-se as variáveis iluminância noturna ($V = 0,6$), calor diurno ($V = 0,8$) e noturno ($V = 0,9$) e visibilidade no plano sagital ($V = 0,9$).

O *processador florestal* foi a máquina que obteve o melhor grau de conformidade nas variáveis ergonômicas dentre as demais máquinas estudadas do sistema *full tree*. Entretanto, cabe o destaque negativo em relação ao pior valor encontrado na dose diária de vibração no período noturno, com indicador ergonômico de 0,7, seguido desta mesma variável no período diurno e do ruído no turno da noite, com V de 0,8. Ainda abaixo do ideal, com V de 0,9, permaneceram a vibração média e o calor em ambos os turnos. Observa-se que, mesmo a máquina não necessitando se deslocar muito durante seu ciclo operacional, a presença de vibração é notada, possivelmente oriunda das oscilações presentes no sistema de transmissão e também dos choques (impactos) causados durante o uso do implemento.

No sistema *cut to length*, o *harvester* 6x6 apresentou como pior indicador a dose de vibração no período diurno, com V de 0,5, seguida da vibração média e do ruído no turno diurno, com V de 0,6. Em melhores condições ergonômicas ficaram as variáveis ruído obtida no período noturno com 0,7, visibilidade noturna no plano sagital com 0,8 e diurna com 0,9. Por outro lado, o *harvester* 8x8 não apresentou resultados tão negativos, sendo considerada a melhor máquina deste sistema de colheita da madeira. Nesta máquina, os piores indicadores permaneceram na variável ruído com V de 0,7 no turno noturno e 0,8 no turno diurno. Em seguida ficaram com 0,9 as variáveis vibração média no período diurno, além de dose diária de vibração e calor em ambos os turnos.

O *forwarder* foi a pior máquina dentro do sistema CTL em decorrência das dificuldades de visibilidade lateral, com V de 0,2 e 0,3 para os turnos da manhã e noite, respectivamente. Tais valores estão relacionados ao grande percentual do tempo que o trabalhador manteve a cabeça rotacionada lateralmente nas fases de carregamento e descarregamento da madeira, visto que a máquina não possuía sistema de rotação de cabine. Em seguida, esteve a dose diária de vibração, com 0,5 para o período diurno e 0,4 para a noite, enquanto o ruído apresentou 0,6 em

ambos os turnos de trabalho. Ainda devem ser destacados os Vs de 0,9 na iluminância noturna e na visibilidade no plano sagital diurna.

Como pode ser observado, os piores resultados de conformidade ergonômica foram obtidos nas máquinas de extração da madeira, ocasionados, principalmente, pelos problemas de vibração e posturas no *skidder* e no *forwarder*. Conforme verificado na literatura, tais variáveis ergonômicas de fato são problemáticas nestas duas máquinas de colheita da madeira (ALMEIDA *et al.*, 2015; SYNWOLDT e GELLERSTEDT, 2003). A vibração é decorrente principalmente da operação, devido aos solavancos que ocorrem durante o deslocamento provocados pelo contato dos pneus com o solo e as irregularidades e presença de obstáculos sobre o terreno. Em contrapartida, as más posturas geralmente são ocasionadas por projetos inadequados dos postos de trabalho. Assim, observa-se que as correções ergonômicas de ambas as variáveis devem ser realizadas em parte por correções operacionais, em parte por correções de projeto.

3.2 Classificação dos Graus de Conformidade pela urgência de intervenção ergonômica

A classificação dos Graus de Conformidade (Vs) com as diferentes cores de acordo com a urgência de intervenção ergonômica está mostrada na Tabela 22. Tal classificação objetiva facilitar a tomada de decisão sobre qual variável ergonômica deve ser priorizada em termos de tratamento.

Tabela 22. Necessidade de intervenção ergonômica nas máquinas de colheita de madeira.

Sistema	Máquina	Período	VM	DV	Ru	C	I	Re	P	VS	VL
<i>Full tree</i>	<i>Feller buncher</i>	Diurno	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0
		Noturno	0,8	0,8	0,5	0,9	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Skidder</i>	Diurno	0,0	0,0	0,2	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,0
		Noturno	0,0	0,1	0,2	0,9	0,6	1,0	1,0	1,0	0,0
Processador	Diurno	1,0	0,8	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
	Noturno	0,9	0,7	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
<i>CTL</i>	<i>Harvester A (6x6)</i>	Diurno	0,6	0,5	0,6	0,9	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0
		Noturno	0,9	0,9	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	0,8	1,0
	<i>Harvester B (8x8)</i>	Diurno	0,9	0,9	0,8	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
		Noturno	1,0	0,9	0,7	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
	<i>Forwarder</i>	Diurno	0,7	0,5	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	0,9	0,2
		Noturno	0,8	0,4	0,6	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,3

VM = vibração média; DV = dose diária de vibração; Ru = ruído; Re = repetitividade; P = postura; C = calor; I = iluminância; VS = ângulo de visibilidade no plano sagital; VL = ângulo de visibilidade no plano lateral; verde = sem necessidade; amarelo = pouco urgente; laranja = urgente; e vermelho = emergência.

No sistema *full tree*, cabe destaque o ruído do *feller buncher* no período noturno, que apresentou emergência na intervenção ergonômica, seguido pela urgência com relação ao ruído observado no período diurno e as vibrações no período noturno.

Entretanto, foi evidente que a máquina prioritária para uma readequação ergonômica é o *skidder*, visto que mais da metade das variáveis analisadas apresentaram necessidade emergencial, com destaque negativo para as vibrações, o ruído e a visibilidade no plano lateral em ambos os turnos de trabalho, e a iluminância no período noturno. Além disso, o calor observado no período diurno acarretou na necessidade de uma intervenção ergonômica urgente. O trabalho nestas condições é inadmissível, devendo ser tomadas medidas corretivas imediatas visando a proteção da saúde laboral dos operadores e a eliminação desta emergência ergonômica.

Assim, é necessária a substituição desta máquina por outra que proporcione melhores condições ergonômicas aos operadores, se possível com sistema de rotação de cabine e melhor diluição das vibrações ocasionadas pelos choques e

solavancos no deslocamento. Alternativamente, pode ser feita uma correção em todos os itens que apresentaram problemas ergonômicos, como planejamento da operação para que a máquina se desloque por um mesmo trajeto com melhores condições, redução da velocidade de trabalho, melhorias no projeto da cabine e assento com sistemas de amortecimentos, reparos no sistema de vedação da cabine para reduzir a alta intensidade de ruídos, aumento no número de lanternas direcionadas ao implemento para aumentar a iluminância do local de trabalho e modificação no assento para que este tenha um giro na maior amplitude possível.

O processador florestal foi a máquina menos problemática do ponto de vista ergonômico, não havendo nenhuma necessidade emergencial, porém apresentou urgência em relação à dose diária de vibração e ao ruído, que estavam acima do permitido em ambos os turnos de trabalho. Mesmo não tendo apresentado nenhuma situação de emergência, as variáveis citadas merecem ser destacadas devido ao tratamento especial que deve ser providenciado para redução da severidade de ambas as variáveis ergonômicas.

No sistema *cut to length*, o *harvester* 6x6 apresentou situação de emergência no período diurno em relação à vibração e ao ruído. Em seguida, a visibilidade no plano sagital apresentou urgência, com necessidade de ações corretivas. Tais situações devem ser imediatamente readequadas para melhorar as condições laborais para os operadores, como melhoria nas técnicas de trabalho ou na vedação da cabine para reduzir vibração e ruído.

O *harvester* 8x8 foi considerada a máquina com menor necessidade de readequação em ambos os sistemas de colheita da madeira, entretanto, apresentou urgência de intervenção para a variável ruído em ambos os turnos de trabalho. Destaca-se a postura, a repetitividade, a iluminância e a visibilidade no plano lateral como variáveis positivas na operação com esta máquina.

O *forwarder* ficou em segundo lugar na prioridade de intervenção dentre as máquinas em ambos os sistemas de colheita da madeira. Também foi considerada a máquina mais inadequada dentro do sistema *cut to length*, com situação de emergência em relação à dose diária de vibração, ao ruído e à visibilidade no plano lateral, ou seja, sendo inadequadas em 1/3 das variáveis ergonômicas analisadas.

Ao analisar as variáveis ergonômicas na operação de extração com o *forwarder*, destaca-se que a variável mais inadequada observada dentre todas foi o ruído, tendo apresentado emergência ou urgência de necessidade de intervenção

ergonômica em todas as máquinas para ambos os turnos de trabalho estudados. Mesmo tendo estado abaixo dos 85 dB (A) orientados pela legislação, valores muito próximos dos limites podem ser classificados pouco abaixo de 1, indicando que, mesmo com pouca urgência na intervenção, estes devem ser acompanhados com mais atenção, de forma a evitar possíveis problemas.

Por outro lado, as variáveis postura e repetitividade foram as únicas que não apresentaram necessidade de intervenção em nenhuma das máquinas e períodos estudados. Em uma análise postural mais aprofundada (Capítulo I), foram observados problemas posturais associados à visibilidade principalmente nas máquinas de extração da madeira. A visibilidade no plano lateral avaliou apenas o grau de giro da cabeça dos operadores, enquanto que a avaliação postural realizada possuiu foco em toda a parte superior do corpo humano (posição dos braços, antebraços, tronco, força executada e qualidade da pega), sendo o giro da cabeça apenas um dentre os diversos aspectos analisados. Desta forma, de modo geral, a postura foi classificada sem necessidade de intervenção, mas em decorrência da avaliação dos ângulos de visibilidade, pode ser observado que ela necessita, sim, de atenção em pelo menos este aspecto.

Na literatura sobre indicadores ergonômicos em máquinas florestais, Gerasimov e Sokolov (2014) também verificaram condições extremas de trabalho na extração de madeira com os *skidders*, ocasionado por problemas de ruído e visibilidade, semelhante ao obtido neste estudo. Entretanto, cabe ressaltar que tais pesquisadores classificaram os *forwarders* estudados como “confortáveis” ou no máximo, “relativamente desconfortáveis”, enquanto que neste estudo foi a segunda máquina em ordem de emergência para intervenções ergonômicas.

Por outro lado, Marzano *et al.* (2017), ao terem proposto um índice de conformidade ergonômica para máquinas florestais, avaliaram duas máquinas (*harvester* e *forwarder*). Os autores concluíram que seu método para a determinação do “Índice de Conformidade Ergonômica” foi eficiente na avaliação de ambas as máquinas por ter permitido o estabelecimento de uma comparação entre elas.

Entretanto, deve-se ressaltar que este estudo foi além, pois, assim que as variáveis ergonômicas foram avaliadas, estas puderam ser dispostas em uma escala de avaliação e classificadas em diferentes graus de urgência em

necessidade de intervenção ergonômica. Desta forma, pode ser facilitado o entendimento e aumentada a aplicabilidade dos resultados de diferentes avaliações.

4 CONCLUSÕES

Este estudo permitiu obter as seguintes conclusões:

- A aplicação do Grau de Conformidade nas avaliações ergonômicas permitiu identificar as melhores e as piores condições nos postos de trabalho nas máquinas durante a execução das operações florestais.
- A classificação dos resultados em uma escala de cores possibilitou a interpretação dos indicadores ergonômicos, facilitando a sua interpretação e a identificação das variáveis prioritárias para uma intervenção ergonômica corretiva.
- A variável ruído foi que mais afetou o desempenho ergonômico das máquinas de colheita da madeira, tendo apresentado emergência ou urgência de necessidade de intervenção ergonômica.
- As variáveis postura e repetitividade foram as únicas que não apresentaram necessidade de intervenção ergonômica em nenhuma das máquinas avaliadas ou períodos estudados.
- O método proposto possibilitou identificar o *skidder* como a máquina de colheita da madeira com os maiores problemas ergonômicos na execução da operação, ocasionado pela ocorrência dos elevados níveis observados de vibração, ruído e visibilidade no plano lateral.
- As máquinas de colheita da madeira com os melhores resultados ergonômicos na execução das operações foram o *harvester* 8x8 e o processador florestal, sem necessidade de emergência em ambos os turnos de trabalho.

CAPÍTULO III

DESENVOLVIMENTO DE INDICADOR ERGONÔMICO INTEGRADO (IEI) NA AVALIAÇÃO DE MÁQUINAS FLORESTAIS

RESUMO: Muitos estudos não vinculam a ergonomia com a produtividade das operações, sendo necessária a proposição de um método capaz de padronizar os resultados de diversas avaliações ergonômicas e permitir interpretações integradas, utilizando a produtividade como uma das variáveis, de forma a contribuir com a tomada de decisão por parte dos ergonomistas e gestores florestais. Objetivou-se desenvolver um Indicador Ergonômico Integrado (IEI) capaz de relacionar as variáveis ergonômicas entre si e simultaneamente com a produtividade, além de o testar na avaliação ergonômica de máquinas de colheita de madeira. Este estudo foi realizado a partir dos resultados de avaliações ergonômicas de máquinas de colheita da madeira (*feller buncher*, *skidder*, processador florestal, *harvester* 6x6 e 8x8 e *forwarder*), nos turnos diurno e noturno de uma empresa florestal no estado do Paraná. Foram obtidos dados ergonômicos e de produtividade nos postos de trabalho das máquinas florestais em relação às variáveis vibração, ruído, exposição ao calor, iluminância, repetitividade, posturas e ângulos de visibilidade. Os dados foram submetidos a uma análise multivariada de agrupamentos para identificação de possíveis grupos de máquinas semelhantes ergonomicamente. Em seguida, foi realizada a integração dos indicadores das diversas variáveis para obtenção de um único valor para caracterização ergonômica das máquinas. Por fim, os valores normalizados pelos seus desvios em relação à média foram submetidos à análise multivariada fatorial para a determinação dos fatores que influenciaram na composição do IEI. Os resultados evidenciaram a possibilidade de agrupar as máquinas em três grupos distintos: grupo 1 (corte florestal no turno diurno), grupo 2 (todas as máquinas no turno noturno) e grupo 3 (extração florestal no turno diurno). O grupo 1 (R^2 de 0,695) apresentou quatro fatores e apontou o *harvester* 6x6 (IEI 1,95), como a máquina mais inadequada do ponto de vista ergonômico, ocasionado pelo elevado valor observado no fator 1 (vibração, postura e visibilidade no plano sagital), explicado pelos impactos da operação e maior inclinação frontal do pescoço. O grupo 2 (R^2 de 0,61) mostrou dois fatores problemáticos, sendo o *skidder* (IEI 4,65) definido como a máquina mais inadequada no período noturno devido aos problemas de vibração durante o deslocamento, o ruído, a baixa iluminância e os problemas nos ângulos de visibilidade (planos sagital e lateral). O grupo 3 (R^2 de 0,78) apontou três fatores ergonômicos, sendo o *skidder* (IEI 2,32) como a máquina de extração diurna mais inadequada ergonomicamente. A análise conjunta de todas as máquinas (R^2 de 0,9) identificou seis fatores que novamente confirmaram o *skidder* (IEI 2,82) como a máquina de pior avaliação ergonômica. A produtividade auxiliou satisfatoriamente na explicação dos dados da avaliação ergonômica e na determinação do IEI, possibilitando ser eficaz nas avaliações ergonômicas integradas.

Palavras-chave: Variáveis ergonômicas, produtividade, análise de agrupamentos.

ABSTRACT: *Many studies are not linking ergonomics with the productivity of operations, and it is necessary to propose a method to standardize the results of various ergonomic assessments and allow integrated interpretation using productivity as one of the variables in order to contribute to the decision-making by ergonomists and forest managers. The objective was to develop an Integrated Ergonomic Indicator (IEI) able to relate the ergonomic variables to each other and simultaneously to the productivity, in addition to test them in the ergonomic evaluation of wood harvesting machines. This study was performed from the results of ergonomic assessments of wood harvesting machines (feller buncher, skidder, forest processor, 6x6 and 8x8 harvesters and a forwarder), at day and night shifts in a forest industry in Parana state. Ergonomic and productivity data were obtained at the forest machines workstations, and they were the variables vibration, noise, heat exposure, illuminance, repetitiveness, postures and angles of visibility. The data were submitted to a multivariate cluster analysis to identify possible groups of ergonomically similar machines. Then, the integration of the indicators from the various variables was performed to obtain a single value for the ergonomic characterization of the machines. Finally, the values normalized by their deviations from the mean were submitted to a multivariate factor analysis to determine the factors that influenced the IEI composition. The results showed the possibility of grouping the machines in three different groups: group 1 (cutting on day-shift), Group 2 (all the machines at night) and group 3 (extraction in day-shift). Group 1 (R^2 of 0.695) showed four factors and pointed the harvester 6x6 (IEI 1.95) as the most inadequate machine from the ergonomic point of view, caused by the high value observed in factor 1 (vibration, posture and visibility in sagittal plan), explained by the impacts of the operation and greater frontal inclination of the neck. Group 2 (R^2 0.61) showed two problematic factors and the skidder (4.65 IEI) was defined as the most inadequate machine through the night due to vibration problems during movement, noise, the low illuminance and the problems in angles of visibility (sagittal and lateral planes). Group 3 (R^2 of 0.78) showed three ergonomic factors, and the skidder (IEI 2.32) was the most inadequately ergonomic extraction machine in day-shift. The joint analysis of all the machines (R^2 of 0.9) identified six factors that again confirmed the skidder (IEI 2.82) as the machine with the worst ergonomic evaluation. Productivity assisted satisfactorily in explaining ergonomic assessment data and IEI determination, making it possible to be effective in integrated ergonomic assessments.*

Keywords: *Ergonomic variables, productivity, cluster analysis.*

1 INTRODUÇÃO

Com o avanço da mecanização na colheita da madeira, houve a diminuição no excesso de força física demandada pelos trabalhadores florestais. No entanto, novas preocupações ergonômicas surgiram, tais como movimentos repetitivos, posturas inadequadas, vibração, problemas organizacionais e de gestão, dentre outros.

Há uma tendência que defende o equilíbrio entre a ergonomia e as exigências de produção para alcançar um sistema sustentável (HENDRICK, 1997; DUL e NEUMANN, 2009; THUN *et al.*, 2011; GUIMARÃES *et al.*, 2015). Assim, o trabalho com equipamentos de colheita da madeira em condições ergonômicas inadequadas compromete a saúde e a segurança do trabalhador, além de prejudicar a qualidade e a produtividade no trabalho.

Entretanto, os gestores e ergonomistas geralmente associam a ergonomia somente com a saúde ou a segurança ocupacional para cumprimento da legislação, sem a associar com o desempenho do negócio. Em face disto, os tomadores de decisão não são motivados a aplicar a ergonomia apenas por motivos de melhoria da saúde e da segurança (DUL e NEUMANN, 2009). Apesar de que resultados positivos na organização do trabalho baseada na ergonomia juntamente com ações orientadas de produção já tenham sido alcançados (GUIMARÃES *et al.*, 2015), estudos de campo raramente vinculam a gestão da produção com práticas e princípios ergonômicos.

Nesta ótica, a análise ergonômica de máquinas florestais poderá ser realizada de forma mais abrangente. Propõe-se que a análise ergonômica atual no Brasil não está bem consolidada com as publicações nacionais mais recentes, e com base principalmente nas reflexões de Gerasimov e Sokolov (2013), pretende-se demonstrar que a abordagem atual pode ser alterada para uma conformação mais ampla, levando em consideração o sistema sócio técnico, onde a ergonomia não somente visa à melhoria do trabalho, mas também leva em consideração a produtividade e o desempenho do trabalho florestal.

Portanto, um novo método que padronize os resultados de diversas avaliações ergonômicas e que permita obter interpretações integradas e individuais poderá contribuir com a tomada de decisão no sentido de facilitar a compreensão de

seus resultados, bem como possibilitar a identificação do impacto do problema ergonômico em relação às demais dimensões do trabalho.

Desta forma, objetivou-se neste estudo desenvolver um Indicador Ergonômico Integrado (IEI) capaz de relacionar as variáveis ergonômicas simultaneamente com uso de informações de produtividade e testá-lo na avaliação ergonômica de máquinas de colheita de madeira.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Análises de agrupamentos e fatorial

Primeiramente os dados brutos (vibração em termos de aceleração e dose diária, ruído, calor, iluminância, repetitividade, postura e ângulos de visibilidade nos planos sagital e lateral) foram submetidos a uma análise de agrupamentos (*cluster analysis*), com o objetivo de identificar possíveis grupos de máquinas em termos de semelhança.

Nesta análise foi utilizado o método aglomerativo, com uma matriz quadrada de distâncias entre os valores par-a-par medidos para cada par de dados. Para o cálculo das distâncias no espaço tridimensional foi utilizada a distância euclidiana, por meio da fórmula:

$$d_{i,j} = \sqrt{\sum_{k=1}^n (y_{i,k} - y_{j,k})^2}$$

onde: d = distância da variável; n = número de variáveis; y = valores; i e j = tratamentos; k = variável.

Após a análise par-a-par, quanto mais próximo um valor fosse do outro, significaria que ambos pertenceriam a um mesmo grupo. Para a determinação dos grupos (*clusters*), os dados foram analisados no *software* IBM SPSS *Statistics*® por meio da ferramenta gráfica Dendrograma no método de aglomeração de Ward (minimização da variação interna).

Assim, com a obtenção do dendrograma, foi realizada a identificação das máquinas que pertenciam a um mesmo grupo devido às suas semelhanças entre si em termos ergonômicos, ou seja, que apresentavam comportamento semelhante para as mesmas variáveis ergonômicas. Em seguida, realizou-se uma Análise Fatorial (FA, na sigla em inglês) para cada grupo, por meio do mesmo *software*, de forma a obter os fatores (*factors*) que melhor explicassem a variação dos dados.

Para que a análise não favorecesse nem prejudicasse nenhuma variável, tornou-se necessária sua padronização, de forma a tomarem caráter adimensional. Para isso, ao invés de ter utilizado os resultados das avaliações ergonômicas em

suas respectivas unidades, tais valores foram padronizados por meio do cálculo dos seus desvios em relação à média, dividido pelo desvio padrão:

$$Z = \frac{(Y_i - \bar{Y})}{s}$$

onde: Z = resultado da avaliação ergonômica adimensional (normalizado); Y = valor; \bar{Y} = média; s = desvio padrão.

Para determinar a importância de cada variável na composição do fator, foram utilizados os valores acima de 0,5 na matriz de componente rotacionada pelo método Varimax fornecida pelo *software*.

2.2 Cálculo do Indicador Ergonômico Integrado (IEI)

A integração dos indicadores de forma a obter um único valor composto para a situação ergonômica de cada máquina foi realizada com o uso dos valores adimensionais normalizados para cada variável dentro de cada fator e dos pesos obtidos na matriz de componente rotacionada.

Após ter sido realizada a análise fatorial com a determinação dos fatores, cada valor médio correspondente à variável dentro de cada fator foi multiplicado pelo seu respectivo peso e, então, somado às demais variáveis que compunham o respectivo fator, por meio da fórmula:

$$F_n = \sum_{i=1}^n (Z \times p)$$

onde: F = indicador ergonômico para cada fator; Z = resultado da avaliação ergonômica adimensional (normalizado); p = peso da variável (obtido pelo seu valor correspondente na matriz de componente rotacionada); e n = número de variáveis ergonômicas do fator.

O modelo de análise ergonômica integrada proposto, demonstrando as integrações entre os resultados e possibilitando a transformação dos valores brutos em índices/indicadores para análise integrada foi dado pela fórmula:

$$IEI = \frac{\sum_{i=1}^n (F \times \text{Varfat})}{\text{Vartot}}$$

onde: IEI = indicador ergonômico integrado F = indicador ergonômico para cada fator; Varfat = variância explicada para cada fator; Vartot = variância total explicada; e n = número de variáveis ergonômicas estudadas.

O índice calculado como um indicador simples de ergonomia é um índice composto, que representa a combinação de dois ou mais sub-indicadores (fatores). Para a obtenção do Indicador Ergonômico Integrado (IEI) foi multiplicado o índice por fator pela variância explicada para cada fator. Os indicadores dos fatores foram somados e o resultado foi dividido pela variância total explicada. Os valores permanecem em torno de 0 (zero), podem ser tanto positivos como negativos e sua interpretação é que quanto maior o indicador, pior é a condição ergonômica da máquina.

Por se tratar de uma análise multivariada (com todas as variáveis ao mesmo tempo) e como os dados medidos são analisados entre si (e não com relação aos limites estabelecidos por alguma norma ou legislação), os valores de IEI tendem a mudar dependendo do número de máquinas avaliadas ou períodos de observação (tratamentos).

Para efeitos de comparação, a análise fatorial e a determinação do IEI foram realizadas tanto para cada grupo obtido na análise de agrupamentos, como também para todas as máquinas do estudo, de forma a realizar tanto uma análise específica como uma mais abrangente, pelo mesmo método.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio da análise de agrupamento foram determinadas as máquinas de colheita da madeira que pertenceriam a um mesmo grupo devido à semelhança no comportamento das variáveis ergonômicas mensuradas (vibração em relação à aceleração e dose diária, ruído, exposição ao calor, iluminância, repetitividade, postura, ângulos de visibilidade nos planos sagital e lateral e produtividade). Assim, o Indicador Ergonômico Integrado (IEI) foi calculado tanto para os grupos como para todas as máquinas.

3.1 Análise de agrupamentos (*cluster analysis*)

As médias das variáveis utilizadas na análise de agrupamentos estão mostradas na Tabela 23.

Tabela 23. Médias das variáveis utilizadas na análise de agrupamentos.

Máquina	Período	Prod. (m ³ /he)	VM (m/s ²)	DV (m/s ^{1,75})	Ru (dB)	C (IBUTG)	I (lux)	Re (SI)	P (Cód. RULA)	VS (graus)	VL (graus)
Feller buncher	Diurno	147,4	0,7	13,1	65,4	19,2	3142,3	2,8	2,5	14,3	7,8
	Noturno	139,1	0,8	15,1	78,3	17,1	193,3	2,4	2,3	7,9	6,2
Skidder	Diurno	80,9	1,6	28,7	88,9	20,5	20000,0	2,3	3,2	11,6	38,3
	Noturno	83,1	1,2	22,1	86,8	15,3	144,8	2,4	3,3	3,0	76,8
Processador	Diurno	43,9	0,5	13,6	68,5	18,1	4976,6	3,2	2,2	8,6	8,8
	Noturno	44,9	0,6	14,1	62,4	17,1	336,5	3,3	2,4	8,9	7,3
Harvester 6x6	Diurno	20,3	0,9	18,4	74,2	18,0	7720,1	2,8	2,8	14,1	7,3
	Noturno	21,4	0,7	12,5	64,0	16,0	313,7	2,6	3,0	14,8	7,5
Harvester 8x8	Diurno	28,9	0,6	12,2	63,4	18,8	7735,2	2,4	2,5	10,3	7,3
	Noturno	33,0	0,4	10,1	64,0	17,3	277,6	2,4	2,5	8,2	8,7
Forwarder	Diurno	42,8	0,9	19,0	71,6	20,6	20000,0	2,2	2,6	11,0	29,6
	Noturno	41,0	0,8	19,1	73,5	14,6	202,3	2,7	2,7	9,7	29,4

Prod. = produtividade; VM = vibração média; DV = dose diária de vibração; Ru = ruído; Re = repetitividade; P = postura; C = exposição ao calor; I = iluminância; VS = ângulo de visibilidade no plano sagital; e VL = ângulo de visibilidade no plano lateral.

Nota-se que os dados se comportaram de maneira diferente entre ambos os turnos de trabalho (diurno e noturno) em termos de ergonomia e produtividade pois, em sua maioria, os valores observados foram menores no turno da noite. Além disso, no diurno houve diferenciação no comportamento das variáveis dentre as

máquinas de corte e extração florestal, visto que os valores destas foram, em média, maiores em relação aos daquelas.

Isto foi evidenciado no resultado da análise de agrupamentos para todas as máquinas avaliadas neste estudo (Figura 32). A linha horizontal cruza a quantidade de grupos formados que, neste caso, foram três, e o coeficiente de determinação (R^2) da análise foi de 0,95.

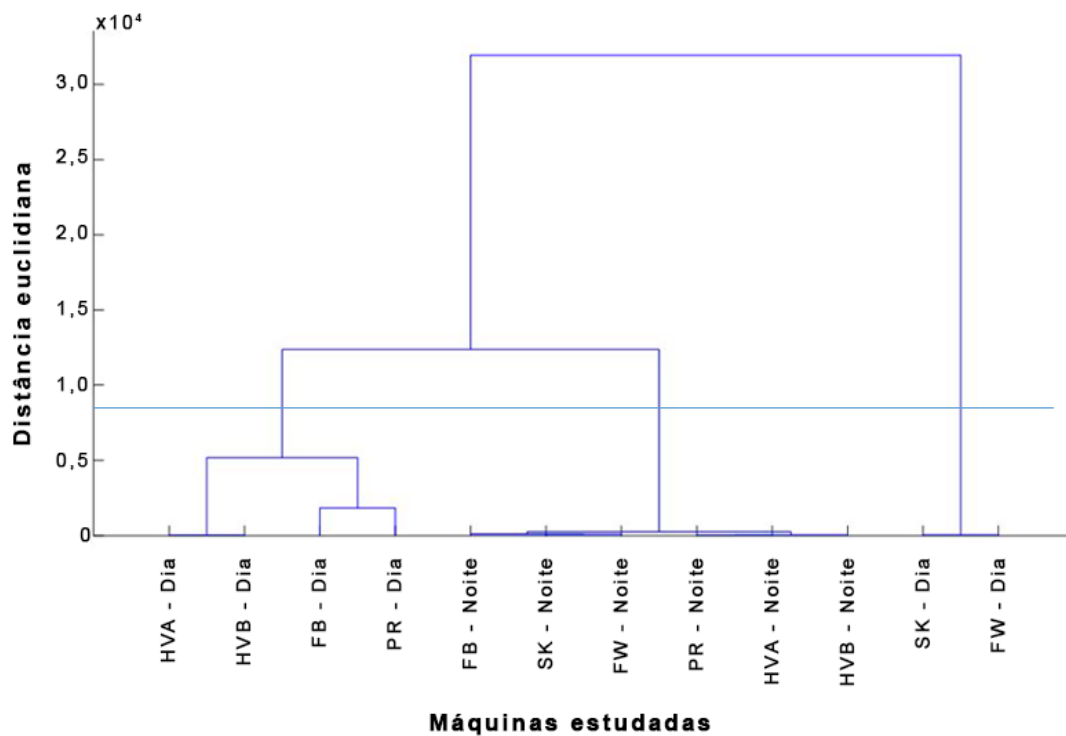


Figura 32. Grupos formados na análise de agrupamentos para as máquinas de colheita da madeira.

O grupo 1 foi formado pelas máquinas de corte florestal no período diurno, sendo então alocados neste grupo ambos os *harvesters*, o *feller buncher* e o processador florestal. O grupo 2 foi composto por todas as máquinas do turno noturno e o grupo 3 contemplou as máquinas de extração (*skidder* e *forwarder*), apenas no turno diurno.

3.2 Determinação do Indicador Ergonômico Integrado (IEI) para cada grupo de máquinas

A análise fatorial para o grupo 1 (máquinas de corte florestal no período diurno) apontou quatro fatores que explicaram 69,5% dos dados. As variáveis que compuseram cada fator, bem como os índices de associação que expressaram o peso das variáveis, obtidos na matriz de componente rotativa, estão apresentados na Tabela 24.

Tabela 24. Fatores obtidos e suas variáveis correlacionadas para as máquinas de corte florestal no turno diurno.

Fator	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Variável	R ²
1	24,5	24,5	Vibração média	0,78
			Dose de vibração	0,64
			Postura	0,79
			Visibilidade sagital	0,68
2	19,3	43,8	Produtividade	0,92
			Iluminância	-0,92
3	13,7	57,5	Ruído	0,81
			Repetitividade	0,56
4	12,0	69,5	Calor	0,67
			Visibilidade lateral	-0,52

Como pode ser observado, o Fator 1 foi composto pela aceleração média associada à dose de vibração, à postura e à visibilidade no plano sagital. Assim, a vibração influenciou na postura, que permaneceu na maior parte do tempo estática, porém com desvios de visibilidade no plano sagital, no qual o operador flexionava sua cabeça para a frente de forma a melhor visualizar tanto a ferramenta (cabeçote) como a tela de informações (*display*) da máquina.

A qualidade do campo visual, segundo Zander (1972), é muito importante para que haja uma rápida percepção do operador e, quando esta é deficiente, influencia na postura corporal durante o trabalho. Além disso, Mehta e Tewari (2000) recomendaram que, para fazer uma análise completa sobre as vibrações no assento de tratores, também deve ocorrer a avaliação da postura do operador.

No Fator 2, a produtividade se associou com a iluminância. Neste caso, foram observados valores de produtividade maiores no turno da noite e, nesta análise, sempre que houve menor iluminância também houve menor produtividade, assim como também mencionado por Skogforsk (1999). Como as máquinas trabalharam no turno diurno, sugere-se que a menor iluminância possa ter causado melhor conforto visual na execução das atividades.

O Fator 3 apresentou a associação entre ruído e repetitividade e, no 4, o calor se associou com a visibilidade lateral, entretanto com menor representatividade na explicação dos dados.

Cada Fator teve seu indicador ergonômico parcial calculado pela somatória dos dados normalizados de cada variável ergonômica multiplicado por seus respectivos pesos (R^2). Tais indicadores e IEIs por máquina estão apresentados na Tabela 25.

Tabela 25. Indicador Ergonômico Integrado (IEI) para as máquinas de corte florestal no turno diurno.

Máquina	Índice por Fator				IEI
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	
<i>Feller buncher</i>	0,1379	1,1266	-0,4536	0,1500	0,30
Processador	-0,1379	-1,1266	0,4536	-0,1500	-0,30
<i>Harvester 6x6</i>	5,9412	-0,6087	0,2600	-0,1826	1,95
<i>Harvester 8x8</i>	2,2940	-1,0752	-1,4210	0,0283	0,24

IEI = indicador ergonômico integrado.

O *feller buncher* foi considerada uma máquina intermediária em termos ergonômicos, tendo apresentado IEI de 0,30, e influenciado principalmente pelo Fator 2, composto por produtividade e iluminância. No turno diurno, quanto menor a iluminância, maior foi conforto do operador, e conseqüentemente, maior a produtividade.

O processador florestal foi considerado como a melhor máquina deste grupo, com IEI de -0,30. Tal situação foi explicada pelo mesmo fator e mesma análise do *feller buncher*, ou seja, maior iluminância que influenciou em maior produtividade.

O *harvester 6x6* apresentou IEI de 1,95, foi considerada a máquina mais inadequada deste grupo, principalmente devido ao elevado valor observado no

Fator 1. Sendo assim, os elevados valores de vibração dados por aceleração e dose, postura e visibilidade no plano sagital, foram explicados pelos impactos e maior inclinação frontal do pescoço, influenciando negativamente na situação ergonômica desta máquina em estudo. Cabe destaque ao elevado valor do Fator 3, associado ao ruído e à repetitividade.

O *harvester* 8x8 também foi enquadrado como intermediário em termos ergonômicos, com IEI de 0,24. Foram constatados os mesmos problemas ergonômicos do Fator 1 no *harvester* A (vibração média, dose de vibração, postura e visibilidade no plano sagital), porém com menor intensidade. Entretanto, no B houve melhores condições associadas de ruído e repetitividade, deixando-a em melhor colocação do que o A.

Ao terem estudado as vibrações emitidas por máquinas de colheita da madeira, Almeida *et al.* (2015) encontraram valores elevados em *feller buncher*, mesmo com a tecnologia atual disponível. Gerasimov e Sokolov (2009) encontraram melhores resultados de VCI em *harvesters*. Neste estudo, as vibrações foram piores no *harvester* 6x6 com grua lateral, enquanto que o *harvester* 8x8 com grua frontal apresentou as melhores condições para esta variável.

A melhor máquina foi aquela com menor deslocamento durante a realização de sua tarefa, ou seja, o processador florestal. Häggström *et al.* (2016) relataram que o maior risco de exposição às VCIs está no contato dos rodados com o piso florestal durante o deslocamento das máquinas, e não nos impactos causados pelo conjunto lança e implemento (garra, cabeçote, etc.) durante as operações. Associado também a postura e visibilidade no plano sagital, Dul e Weerdmeester (2012) afirmaram que se há inclinação de tronco e cabeça na posição sentada, o pescoço e as costas usualmente são submetidos às tensões que podem causar dores.

No Grupo 2 (todas as máquinas de colheita no período noturno), a análise fatorial apontou dois fatores que explicaram 61,0% dos dados. As variáveis que os compuseram, bem como seus respectivos índices de associação que expressaram o peso das variáveis, obtidos na matriz de componente rotativa, estão mostrados na Tabela 26.

Tabela 26. Fatores obtidos e suas variáveis correlacionadas para as máquinas de colheita da madeira no turno noturno.

Fator	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Variável	R ²
1	44,8	44,8	Produtividade	0,79
			Vibração média	0,68
			Dose de vibração	0,59
			Ruído	0,78
			Iluminância	-0,82
			Visibilidade sagital	-0,72
2	16,2	61,0	Postura	0,79
			Calor	-0,68
			Visibilidade lateral	0,72

O Fator 1 agrupou um grande número de variáveis que se relacionaram entre si, composto pela produtividade associada com vibração em termos de aceleração e dose diária, ruído, iluminância e visibilidade no plano sagital. Sendo assim, quando houve aumento na produtividade, houve também a ocorrência de maior vibração e maior ruído, com maior iluminância e menos flexão de pescoço.

Cabe destaque à produtividade, a qual acompanhou o comportamento de diversas variáveis ergonômicas. De fato, esta já começa a ser levada em consideração nos estudos ergonômicos de operações florestais no Brasil, como no estudo de Souza *et al.* (2015), que associaram a ergonomia para o estabelecimento de metas de produção.

O Fator 2, por sua vez, alocou a postura associada com calor e visibilidade no plano lateral, sendo que situações de temperatura mais baixa aconteceram junto à ocorrência de piores postura e visibilidade lateral, possivelmente em decorrência do conforto térmico inadequado.

A repetitividade não se associou com nenhum dos dois fatores.

O indicador ergonômico calculado para cada Fator (somatória dos dados normalizados de cada variável ergonômica multiplicados por seus respectivos pesos) e IEIs calculados por máquina estão mostrados na Tabela 27.

Tabela 27. Indicador Ergonômico Integrado (IEI) para as máquinas de colheita de madeira período noturno.

Máquina	Índice por Fator		IEI
	Fator 1	Fator 2	
<i>Feller buncher</i>	2,65	-1,39	1,57
<i>Skidder</i>	5,33	2,77	4,65
Processador	-2,51	-1,10	-2,13
<i>Harvester 6x6</i>	-3,41	0,11	-2,48
<i>Harvester 8x8</i>	-2,66	-1,09	-2,24
<i>Forwarder</i>	0,60	0,70	0,62

IEI = indicador ergonômico integrado.

O *feller buncher* apresentou IEI de 1,57, sendo considerada ergonomicamente como a segunda pior máquina dentre as demais avaliadas, principalmente em decorrência do Fator 1, que explicou 44,78% dos dados e relacionou-se com a produtividade, a vibração, o ruído, a iluminância e a visibilidade no plano sagital.

O *skidder* foi a pior máquina em termos ergonômicos, tendo apresentado o maior IEI, com 4,65. Ambos os fatores apresentaram forte influência no indicador, ou seja, não houve nenhuma variável ergonômica que contrabalanceasse a análise. Sendo assim, esta máquina apresentou problemas de vibração, ocasionados pelo seu deslocamento em campo, associado também ao ruído. A iluminância foi muito baixa, houve problemas em ambos os ângulos de visibilidade (planos sagital e lateral) e postura inadequada.

O processador florestal e os *harvesters* 6x6 e 8x8 apresentaram valores muito semelhantes entre si, com IEI de -2,13, -2,48 e -2,24, respectivamente. Dentre estas máquinas de características similares, o processador florestal obteve o maior índice, ou seja, ficou em terceiro lugar dentre as melhores ergonomicamente, principalmente devido às variáveis que compuseram o Fator 1 (produtividade, vibração, ruído, iluminância e visibilidade no plano sagital). Os *harvesters* foram as melhores máquinas deste grupo. Mesmo com o Fator 2 (composto por postura, calor e visibilidade no plano lateral) ruim, o *harvester* 6x6 obteve o maior Fator 1 dentre todas as máquinas deste grupo, com destaque para a boa iluminância no local de trabalho. O *harvester* 8x8 demonstrou características ergonômicas muito

semelhantes ao 6x6, ou seja, com destaque para as variáveis que compuseram o Fator 1 e interagiram entre si.

O *forwarder* apresentou IEI de 0,62, composto por indicadores parciais positivos tanto no Fator 1 como no 2, indicando que, mesmo próximo de zero, são necessárias medidas preventivas visando à melhoria de todas estas variáveis.

Estudos corroboram estes resultados no que tange à alocação do *skidder* como uma das piores máquinas em avaliações ergonômicas (ALMEIDA *et al.*, 2015; GERASIMOV e SOKOLOV, 2014). Entretanto, apesar de ser usualmente uma máquina com produtividade satisfatória (OLIVEIRA e PEREIRA, 2013), a segurança e a saúde dos operadores devem ser prioridade, inclusive devido ao seu amparo legal (BRASIL, 1978).

Sobre o Grupo 3 (máquinas de extração florestal no turno diurno), a análise fatorial apontou para três fatores que explicaram 78% dos dados. As variáveis que compuseram e seus índices de associação (peso das variáveis), obtidos da matriz de componente rotativa, estão mostrados na Tabela 28.

Tabela 28. Fatores obtidos e suas variáveis correlacionadas para as máquinas de extração florestal no turno diurno.

Fator	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Variável	R ²
1	47,7	47,7	Produtividade	0,92
			Vibração média	0,96
			Dose de vibração	0,91
			Ruído	0,84
			Postura	0,75
			Visibilidade lateral	0,52
2	18,6	66,3	Repetitividade	0,91
			Visibilidade sagital	-0,86
3	11,7	78,0	Calor	-0,93

O Fator 1 alocou a variável produtividade associada com a vibração, ruído, postura e visibilidade lateral. Apesar da similaridade parcial deste fator nos três grupos, ressalta-se que a variável visibilidade mostrou comportamento diferente neste fator, visto que em ambas as máquinas os operadores passaram grande parte

do tempo com o pescoço rotacionado para melhor visualizar a garra do *forwarder* nas fases de carregamento e descarregamento ou a pinça do *skidder* no arraste da madeira, que, de acordo com Oliveira *et al.* (2009) e Lopes *et al.* (2014) demandam a maior parte do ciclo operacional. Skogforsk (1999) diz que este problema se torna grave caso o operador necessite seguir o movimento da lança a partir de uma cabine fixa, como no caso das duas máquinas avaliadas neste estudo.

O Fator 2 foi originado pela associação entre repetitividade e visibilidade no plano sagital de forma inversa, ou seja, quanto maior a inclinação de pescoço para enxergar a operação, menor foi a quantidade de movimentos repetitivos. Isto pode ser relacionado com a redução no ritmo de trabalho proporcionada pela dificuldade de visibilidade no plano sagital.

O fator 3 foi composto pelo calor, isoladamente, sem associação alguma com outra variável ergonômica. A elevada iluminância presente em ambas as máquinas que trabalharam debaixo da luz solar direta não influenciou no comportamento das variáveis ergonômicas na comparação entre as duas máquinas que compuseram o Grupo 3.

O indicador ergonômico calculado para cada Fator (somatória dos dados normalizados de cada variável ergonômica multiplicado por seus respectivos pesos), sua variância explicada e IEIs calculados por máquina estão mostrados na Tabela 29.

Tabela 29. Indicador Ergonômico Integrado (IEI) para as máquinas de extração florestal no turno diurno.

Máquina	Índice por Fator			IEI
	Fator 1	Fator 2	Fator 3	
<i>Skidder</i>	3,7825	0,0347	0,0208	2,32
<i>Forwarder</i>	-3,7825	-0,0347	-0,0208	-2,32

IEI = indicador ergonômico integrado.

O *skidder* foi considerado novamente como a máquina mais inadequada deste grupo, com IEI de 2,32, influenciado principalmente pelas variáveis que compuseram o Fator 1 (produtividade, vibração, ruído, postura e visibilidade lateral), que explicou 47,7% dos dados. Mesmo com produtividade maior em relação ao

forwarder, esta aconteceu em detrimento das demais variáveis ergonômicas, de modo a prejudicar a saúde laboral do trabalhador.

Em contrapartida, mesmo tendo apresentado alguns valores prejudiciais às condições ergonômicas, como elevada angulação para visibilidade lateral, o *forwarder* apresentou IEI de -2,32. Sendo assim, esta máquina, em comparação com o *skidder*, evidenciou melhores condições ergonômicas.

No estudo de Gerasimov e Sokolov (2009), após terem avaliado ergonomicamente diversas máquinas de colheita da madeira, houve vários resultados satisfatórios, exceto nos *skidders*. Inclusive, de acordo com Cation *et al.* (2008), houve situações em que esta máquina ampliou as vibrações recebidas, ao invés de atenuá-las.

Este estudo demonstrou que é importante avaliar diversas variáveis ergonômicas, visto que elas se relacionam entre si. Pesquisadores estudaram algumas delas em conjunto, como postura, clima e visibilidade (PENNA *et al.*, 2011) ou ruído, luz e calor (MINETTE *et al.*, 2007), ou ainda ângulos de visibilidade, ruído, vibrações e posturas (GERASIMOV e SOKOLOV, 2014). Entretanto, estes últimos citados propuseram uma maneira de analisar as variáveis ergonômicas de forma integrada e escaloná-las da pior para a melhor máquina. A diferença é que, neste estudo, este escalonamento foi realizado com resultados de medições de campo e foi conseguido determinar um peso para cada variável.

3.3 Determinação do Indicador Ergonômico Integrado (IEI) para todas as máquinas

A análise fatorial para todas as máquinas simultaneamente, em ambos os turnos, indicou seis fatores que explicaram 90% dos dados. O elevado número de fatores objetivou proporcionar maior confiabilidade na avaliação, visto que esta foi realizada com máquinas de concepção, características e operações muito diferentes entre si.

As variáveis que compuseram cada fator, bem como os índices de associação que expressaram o peso das variáveis, obtidos na matriz de componente rotativa, estão apresentados na Tabela 30.

Tabela 30. Fatores obtidos e suas variáveis correlacionadas para todas máquinas de colheita da madeira em ambos os turnos de trabalho.

Fator	Variância Explicada (%)	Variância Acumulada (%)	Variável	R²
1	35,6	35,6	Vibração média	0,85
			Dose de vibração	0,88
			Ruído	0,82
			Visibilidade lateral	0,59
2	17,0	52,6	Calor	0,95
			Iluminância	0,72
3	12,3	64,9	Postura	0,93
4	9,6	74,5	Visibilidade sagital	0,96
5	9,2	83,7	Produtividade	0,97
6	5,9	90,0	Repetitividade	0,99

O Fator 1 foi composto por aceleração média associada com dose de vibração, ruído e visibilidade no plano lateral. Sempre que um destes fatores se mostrou elevado, os demais também seguiram tal tendência. No Fator 2, a iluminância foi associada ao calor, sendo que quando aumentou um, também aumentou o outro e vice-versa. Os demais fatores englobaram as outras variáveis ergonômicas de forma individual, com os Fatores 3, 4, 5 e 6 relacionados, respectivamente, com postura, visibilidade no plano sagital, produtividade e repetitividade.

Os indicadores ergonômicos determinados para todos os fatores (somatória dos dados normalizados de cada variável ergonômica multiplicados por seus respectivos pesos) e respectivos IEIs para cada máquina estão mostrados na Tabela 31.

Tabela 31. Indicador Ergonômico Integrado (IEI) das máquinas de colheita de madeira em ambos os turnos de trabalho.

Máquina	Período	Índice por Fator						IEI
		Fator 1	Fator 2	Fator 3	Fator 4	Fator 5	Fator 6	
<i>Feller Buncher</i>	Diurno	-1,5562	0,2630	-0,2763	0,7046	1,9978	0,3364	-0,30
	Noturno	-0,2037	-0,7341	-0,7138	-0,3938	1,8055	-0,3182	-0,20
<i>Skidder</i>	Diurno	5,4914	2,4056	1,0168	0,2421	0,4688	-0,5364	2,82
	Noturno	4,5258	-1,3503	1,1869	-1,2465	0,5191	-0,4273	1,60
Processador	Diurno	-1,7538	0,0918	-0,8596	-0,2782	-0,3836	0,9547	-0,80
	Noturno	-1,9365	-0,7355	-0,4221	-0,2204	-0,3589	1,1001	-0,96
<i>Harvester A (6x6)</i>	Diurno	0,3784	0,3320	0,2487	0,6757	-0,9247	0,3364	0,25
	Noturno	-1,7390	-1,1004	0,5793	0,8057	-0,9015	-0,1000	-0,83
<i>Harvester B (8x8)</i>	Diurno	-2,1524	0,5850	-0,3006	0,0108	-0,7280	-0,4273	-0,89
	Noturno	-2,6659	-0,6523	-0,3443	-0,3505	-0,6348	-0,4273	-1,36
<i>Forwarder</i>	Diurno	0,8286	2,4480	-0,1304	0,1409	-0,4088	-0,6819	0,70
	Noturno	0,7834	-1,5528	0,0154	-0,0903	-0,4508	0,1909	-0,02

IEI = indicador ergonômico integrado.

O *feller buncher* apresentou IEI de -0,30 para o turno diurno e -0,20 para o noturno, com classificação intermediária dentre as avaliadas. Os principais pontos positivos estiveram no Fator 1, vibração em termos de aceleração e dose diária, ruído e visibilidade no plano lateral em níveis aceitáveis, associados a uma produtividade satisfatória. Entretanto, principalmente o Fator 2, que associou calor e iluminância, e o Fator 4, visibilidade no plano sagital, indicou que esta máquina precisa de mais atenção nestas variáveis para a melhoria das condições de trabalho.

O *skidder* foi a máquina com as maiores inadequações ergonômicas em ambos os períodos de trabalho, com IEI de 2,82 no turno diurno, o pior valor dentre todos, e de 1,60 no noturno. O destaque negativo foi o Fator 1, que indicou condições muito ruins de vibração (aceleração e dose), ruído e visibilidade no plano lateral, sendo que estas variáveis se relacionaram entre si. Tal resultado pode ser explicado pela necessidade da máquina em se deslocar no talhão devido às características intrínsecas da operação, bem como à posição inadequada do assento, que colocou os operadores em condições inadequadas de rotação do

pescoço para conseguir melhor visualizar a operação. Além disso, houve elevado calor e iluminância no período diurno e postura ruim em ambos os turnos trabalhados.

O processador florestal foi, em média, a segunda melhor máquina em termos ergonômicos, com IEI de -0,80 e -0,96 para os turnos diurno e noturno, respectivamente. Nota-se uma inversão em relação ao *skidder*, pois esta máquina apresentou valores aceitáveis de vibração (aceleração e dose), ruído e visibilidade no plano sagital, devido ao seu pouco deslocamento durante a operação e à excelente posição do implemento (cabecote) que não colocou os operadores em condições inadequadas de rotação de pescoço (visibilidade no plano lateral).

O *harvester* 6x6 apresentou condição ergonômica ruim no turno diurno, com IEI de 0,25, entretanto com melhora significativa no período noturno, com IEI de -0,83. Tal fato se deveu à inversão das condições ergonômicas das variáveis relacionadas aos Fatores 1 (vibração média, dose de vibração, ruído e visibilidade no plano lateral), 2 (calor e iluminância) e 6 (repetitividade) que foram aceitáveis apenas no turno da noite.

O *harvester* 8x8 foi, em média, a melhor máquina dentre todas as avaliadas, com IEI de -0,89 no turno diurno e -1,36 no noturno, o melhor valor dentre todos. Cabe destaque às boas condições das variáveis ergonômicas associadas que compuseram o Fator 1, ou seja, vibração média, dose de vibração, ruído e visibilidade no plano lateral.

O *forwarder* foi também uma das piores máquinas do ponto de vista ergonômico no turno diurno, com IEI de 0,70, entretanto, tal condição se amenizou no turno da noite, visto o mediano IEI observado de -0,02. Semelhante ao *skidder*, o Fator 1 demonstrou que houve condições ruins de vibração (média e dose), ruído e visibilidade no plano lateral. Tal situação pode ser explicada pelo deslocamento da máquina durante boa parte do tempo do ciclo operacional, que ocasiona choques e solavancos, além da necessidade de os operadores manterem seu pescoço com elevada rotação lateral nas fases de carregamento e descarregamento da madeira na caixa de carga, visto que a máquina não possuía sistema de rotação de cabine.

Ao determinarem um indicador denominado de Grau de Severidade do trabalho, Gerasimov e Sokolov (2014) também classificaram o *skidder* como uma das piores máquinas avaliadas em termos ergonômicos. Tal fato também foi observado neste estudo, visto que o *skidder* avaliado apresentou os piores IEIs em

todas as avaliações das quais fez parte, ou seja, tanto quando avaliadas todas as máquinas no período noturno, como somente na avaliação das máquinas de extração no turno diurno e também quando todas as máquinas foram avaliadas em conjunto.

Conforme Gerasimov e Sokolov (2014), alguns modelos de *harvesters* estiveram dentre as melhores máquinas avaliadas ergonomicamente. Isto também se mostrou real neste estudo, visto que em muitos casos os *harvesters*, principalmente com tração 8x8 e grua frontal, foram muito bem avaliados.

Apesar de ter sido considerado melhor em relação ao *skidder* na avaliação pelo IEI, nota-se muitos pontos negativos no trabalho com o *forwarder* estudado, principalmente devido à dificuldade do operador em manter o pescoço girado lateralmente para direcionar sua visão à garra nas atividades de carregamento e descarregamento da madeira. Gerasimov e Sokolov (2014) também identificaram problemas em *forwarders*, que influenciavam diretamente na operação devido ao péssimo campo visual proporcionado pelos modelos avaliados.

Sob outra ótica, Marzano *et al.* (2017), propôs um indicador denominado de Índice de Conformidade Ergonômica por meio do estudo conjunto de ruído, vibração, ambiente térmico e qualidade do ar em *harvesters* e *forwarders*, e identificaram o melhor indicador em um dos *harvesters* e o pior em um dos *forwarders*. Isto também segue na mesma linha desta pesquisa, dada a disparidade nas avaliações entre as máquinas de corte e extração florestal verificadas, bem como os resultados positivos em um dos *harvesters*.

Desta forma, evidencia-se que este estudo confirma as avaliações já existentes na literatura recente sobre propostas de indicadores ergonômicos para avaliação de máquinas de colheita da madeira. Entretanto, esta pesquisa diferenciou-se por ter utilizado métodos estatísticos para determinar tanto o peso de cada variável ergonômica na avaliação, como para calcular a integração matemática dos indicadores parciais em um único índice, o Indicador Ergonômico Integrado (IEI). Ainda, utilizou-se a produtividade como auxílio à avaliação ergonômica e, desta forma, mais uma opção para a avaliação comparativa de máquinas de colheita da madeira foi elaborada, demonstrada e validada.

4 CONCLUSÕES

De acordo com as análise e discussão dos resultados, foi possível obter as seguintes conclusões neste estudo:

- O método proposto para avaliação ergonômica de máquinas florestais baseada em um Indicador Ergonômico Integrado (IEI) foi capaz de correlacionar as variáveis ergonômicas simultaneamente e utilizar a produtividade na análise, além de identificar os principais problemas ergonômicos nas operações florestais, quantificar os pesos de cada variável e integrar os resultados em um único indicador de fácil entendimento e aplicação.
- O método de avaliação ergonômica permitiu identificar três grupos de máquinas com semelhança em relação ao comportamento das diversas variáveis ergonômicas estudadas que compuseram os fatores individuais do IEI.
- A partir do uso do Indicador Ergonômico Integrado, verificou-se que o *skidder* foi a máquina que apresentou maior quantidade de problemas ergonômicos na execução da extração da madeira, sendo, portanto, a que requer maior atenção por parte dos fabricantes, ergonomistas, gestores e operadores florestais.
- O *skidder* e o *forwarder* foram prejudiciais aos operadores na extração da madeira, principalmente devido aos elevados níveis de vibração de corpo inteiro e às posturas inadequadas causadas pelas dificuldades de visibilidade lateral durante o deslocamento da máquina e o carregamento da madeira, respectivamente.
- O IEI demonstrou que as melhores máquinas do ponto de ergonômico foram o processador florestal e o *harvester* de pneus 8x8, dadas as baixas incidências de vibração, ruído, postura inadequada, com presença de boa visibilidade.

- A produtividade foi satisfatoriamente utilizada como auxílio à explicação dos dados na avaliação ergonômica e na determinação do IEI para todos os grupos encontrados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa se mostrou fundamental em três aspectos.

Em primeiro lugar, confirmou-se que, mesmo com elevado grau de mecanização das operações florestais, ainda existem problemas em diversas variáveis ergonômicas nos postos de trabalho das máquinas de colheita da madeira e, quanto mais variáveis foram estudadas, mais problemas foram encontrados. Verificou-se pontos negativos na vibração, no ruído, na repetitividade, nas posturas, no calor, na iluminância e na visibilidade de diferentes máquinas, cada qual com suas peculiaridades de projeto e de operação.

As máquinas de extração *skidder* e *forwarder*, por exemplo, possuíam grande parte de seu trabalho executado na lateral da cabine e, como nela não havia sistema de rotação, os operadores eram obrigados a adotar posturas inadequadas durante as fases de carregamento e descarregamento da madeira. Para estas máquinas, também cabe destaque aos elevados valores de vibração decorrentes do seu deslocamento pelo talhão, tendo ocasionando, ainda, ruído elevado.

Sobre as máquinas de corte, as vibrações ocupacionais, apesar de existirem e necessitarem de correção com vistas às suas reduções, foram menores em relação às máquinas de extração, devido ao deslocamento ter ocorrido com menor velocidade. Grande parte do ciclo operacional do *feller buncher*, dos *harvesters* e do processador florestal foram realizados sem deslocamento da máquina no talhão, reduzindo a incidência de impactos oriundos dos obstáculos existentes no terreno. Para estas máquinas, cabe destaque positivo àquelas que possuíam giro da cabine em torno do próprio eixo (*feller buncher* e processador florestal), pois foram muito positivas no aspecto postural e de visibilidade, dado que os operadores conseguiram excelente campo visual e necessitavam girar muito pouco suas cabeças para visualização do trabalho. Nos *harvesters*, mesmo com sistema de rotação de cabine, a visibilidade no trabalho com o cabeçote muitas vezes ficava obstruída, seja pela lança ou pela própria estrutura da cabine, colocando o operador por alguns momentos em posturas inadequadas.

Em segundo lugar, foi demonstrado que é possível utilizar a interpretação de diversas variáveis ergonômicas em uma mesma escala numérica, podendo esta ser classificada de acordo com o grau de urgência para um dado tratamento

ergonômico. Assim, constatou-se que o ruído apresentou problemas em todas as máquinas, de forma severa (necessitando correção) ou branda (carecendo de acompanhamento preventivo). Verificou-se também que, apesar de algumas máquinas terem apontado indícios de posturas inadequadas e repetitividade, estas não foram urgentes para aplicação de um tratamento ergonômico corretivo (com exceção das posturas ocasionadas pelos altos ângulos de visibilidade). A classificação por cores tornou mais prática a interpretação dos resultados numéricos e poderá auxiliar o entendimento por operadores com qualquer grau de instrução.

Em terceiro lugar, foi demonstrado que a produtividade pode ser utilizada de forma quantitativa como uma variável adicional na avaliação ergonômica, e que um indicador ergonômico global, integrando e quantificando os pesos das diversas variáveis (ergonômicas e de produtividade), poderá ser obtido por métodos matemáticos. O Indicador Ergonômico Integrado (IEI) desenvolvido neste estudo foi utilizado de forma satisfatória, e os resultados de suas avaliações foram validados tanto neste estudo como quando relacionados a pesquisas científicas recentes.

Entretanto, deve-se lembrar que, esta pesquisa foi realizada em uma determinada região de plantios florestais, com algumas máquinas de colheita da madeira em condições específicas de conservação e uso, em dadas condições operacionais e por um determinado período de tempo. Assim, é *mister* que sua metodologia seja replicada em outras condições operacionais, possivelmente com diferentes máquinas, mas também em diferentes graus de mecanização, em operações silviculturais, de viveiros, dentre outras. Quanto mais for aplicada, maiores as possibilidades de seu aprimoramento e praticidade para utilização em larga escala nas avaliações ergonômicas ao redor do mundo.

RECOMENDAÇÕES

Para a empresa florestal

- O maior risco de exposição às vibrações de corpo inteiro está no contato dos rodados com o piso florestal durante o deslocamento das máquinas, e não nos impactos causados pelo conjunto lança e implemento (garra, cabeçote, etc.) durante as operações. Portanto, recomenda-se estudar meios para a redução das vibrações de corpo inteiro em todas as máquinas de colheita da madeira e, após as correções, realizar mensurações periódicas. Algumas sugestões, principalmente nas máquinas de extração, são o planejamento da operação de forma que a máquina se desloque nas trilhas com as melhores condições de terreno, a redução da velocidade de operação, a redução da pressão dos pneus, a utilização de diferentes enchimentos e amortecimentos para os assentos e a reorganização do trabalho por meio de pausas de recuperação e treinamentos periódicos, além do aprimoramento dos projetos das máquinas pelo fabricante.
- A presença de ruídos no ambiente de trabalho poderá comprometer a audição, causando danos à saúde dos operadores, sendo que, além de causar desconforto, dores de cabeça e diminuição da atenção com a tarefa a ser realizada, pode aumentar o risco de acidentes e diminuir o desempenho do trabalho. Portanto, deve-se evitar a exposição prolongada dos trabalhadores aos ruídos elevados, em um primeiro momento adequando-se aos tempos máximos de exposição permitidos pela NR-15 (no caso do *skidder*), e em um segundo momento diminuindo cada vez mais a exposição (para as demais máquinas), mesmo já estando dentro dos níveis toleráveis pela norma. Recomenda-se monitorar preventivamente o ruído, visto que este permaneceu próximo aos limites de segurança recomendado pela legislação em várias situações.
- Monitorar os movimentos do operador no processamento da madeira com processador florestal, ressaltando que o real problema não é a tarefa repetitiva em si, mas sim a elevada intensidade de movimentos repetitivos

que podem originar, conseqüentemente, lesões nos membros superiores. O monitoramento periódico é importante para se ter um diagnóstico confiável com base na avaliação.

- O *feller buncher*, o processador florestal e os dois *harvesters* apresentaram problemas posturais e de visibilidade no plano sagital devido à inclinação frontal de pescoço pelos trabalhadores para visualização de informações na tela do computador de bordo das máquinas. Recomenda-se a alteração do posicionamento da tela para uma altura maior em relação ao painel do maquinário (desde que não obstrua o campo de visão do operador). Alternativamente, podem-se melhorar as condições de trabalho por meio da adoção da tecnologia *Head-Up Display* (HUD), que se trata de um painel digital que projeta informações diretamente no para-brisa, de modo a evitar tanto a inclinação de pescoço como a necessidade de o operador retirar sua visão da direção de operação.
- As máquinas que apresentaram as melhores condições de visibilidade foram aquelas que possuíam giro em torno de seu próprio eixo e lança com acoplamento lateral, permitindo melhor visualização frontal das máquinas. Para as máquinas de extração, recomenda-se a mudança dos modelos atuais por outros com rotação de cabine, de forma a melhorar os aspectos posturais e facilitar a visualização das operações.
- Monitorar periodicamente a iluminância noturna. Em situação de maior nebulosidade, pode ser que haja redução da eficiência do sistema de iluminação das máquinas, levando à diminuição da iluminância e colocando a operação em situação de risco. Trabalhar próximo do limite mínimo também é um problema no caso da falha de algum dos pontos de luz do maquinário, levando-o a operar em estado crítico de luminosidade local.

Para pesquisas futuras

- Monitorar as variáveis ergonômicas em períodos que contemplem as 24 horas trabalhadas pelas máquinas, de forma a identificar possíveis alterações em seu comportamento.
- Desenvolver uma classificação de urgência de intervenção ergonômica para o método do Indicador Ergonômico Integrado (IEI) proposto neste estudo.
- Utilizar outras variáveis ergonômicas para a determinação do IEI além das demonstradas neste estudo.
- Replicar o método do IEI em operações com diferentes máquinas e modelos, bem como em outras atividades dentro da cadeia produtiva da madeira.

REFERÊNCIAS

AHASAN, M. R.; MOHIUDDIN, G.; KHALEQUE, A. Psychosocial implications of shift work: a case study. **Work Study**, v. 51, n. 3, p. 116-120, 2002.

ALMEIDA, S. F.; ABRAHÃO, R. F.; TERESO, M. J. A. Avaliação da exposição ocupacional à vibração de corpo inteiro em máquinas de colheita florestal. **Revista Cerne**, Lavras-MG, v. 21, n. 1, p. 1-18, 2015.

ALVES, J. U.; MINETTI, L. J.; SOUZA, A. P.; SILVA, K. R.; GOMES, J. M.; FIEDLER, N. C. Avaliação do ambiente de trabalho na propagação de *Eucalyptus* spp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.481-486, 2002.

ASADZADEH, S. M.; AZADEH, A.; NEGAHBAN, A.; SOTOUDEH, A. Assessment and improvement of integrated HSE and macro-ergonomics factors by fuzzy cognitive maps: The case of a large gas refinery. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 26, n. 6, p. 1015-1026, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 5413: Iluminância de interiores. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR ISO/CIE 8995-1: Iluminação de ambientes de trabalho Parte 1: Interior. Rio de Janeiro, 2013.

BARBOSA, R. P.; FIEDLER, N. C.; CARMO, F. C. A.; MINETTE, L. J.; SILVA, E. N. Análise de posturas na colheita florestal semimecanizada em áreas declivosas. **Revista Árvore**, v. 38, n. 4, p. 733-738, 2014.

BARNES, R. M. **Estudo de movimentos e de tempos**: projeto e medida do trabalho. 6 ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1977.

BATISTA, J. V.; SAMPAIO, O. B.; SILVA, F. F. A influência de fatores climáticos e ambientais sobre a saúde de trabalhadores florestais. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v. 7, n. 2, p. 359-390, 2014.

BAYNE, K. M.; PARKER, R. J. The introduction of robotics for New Zealand forestry operations: Forest sector employee perceptions and implications. **Technology in Society**, v. 34, n. 2, p. 138-148, 2012.

BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade**: uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV, 2005.

BENTLEY, T. A.; PARKER, R. J.; ASHBY, L. Understanding felling safety in the New Zealand forest industry. **Applied Ergonomics**, v. 36, n. 2, p. 165-175, 2005.

BRAMUCCI, M.; SEIXAS, F. Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de “harvesters” na colheita florestal. **Scientia Forestalis**, n. 62, p. 62-74, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador. **Saúde ambiental: guia básico para construção de indicadores**. Brasília: Ministério da Saúde, 2011.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 09 - Programa de Prevenção de Riscos Ambientais. Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 1978c.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 15 - Atividades e Operações Insalubres. Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 1978b.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR 17 - Ergonomia. Portaria MTb n.º 3.214, de 08 de junho de 1978. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, 1978a.

BRASIL. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Guia de vigilância epidemiológica**. 6. ed. Brasília, 2005.

BRITTO, P. C.; LOPES, E. S.; DRINKO, C. H. F.; GONÇALVES, S. B. Fatores Humanos e Condições de Trabalho em Atividades de Implantação e Manutenção Florestal. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 4, 2015.

BRITTO, P. C.; LOPES, E. S.; OLIVEIRA, F. M.; RODRIGUES, C. K.; FERT NETO, J.; SOUZA, M. C. Carga de trabalho físico e postura na coleta de pinhão na região serrana de Santa Catarina. **Floresta**, v. 48, p. 203-212, 2018.

BRÜEL AND KJÆR SOUND AND VIBRATION MEASUREMENT A/S. **Human Vibration Analyzer Type 4447**: User Manual. Nærum, Denmark, 2009.

CARMO, M. D.; SOUZA, A. P.; MINETTE, L. J. Avaliação ergonômica da operação de aplicação de gel em duas empresas florestais. **Revista Eletrônica Produção & Engenharia**, v. 3, n. 1, p. 210-223, 2013.

CATION, S.; JACK, R.; OLIVER, M.; DICKEY, J. P.; LEE-SHEE, N. K. Six degree of freedom whole-body vibration during forestry skidder operations. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 38, p. 739-757, 2008.

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION - CEN. **EUROPÄISCHE NORM 12464-2**: Lighting of work places - Part 2: Outdoor work places. 2007.

COSTA, B. R.; VIEIRA, E. R. Risk factors for work-related musculoskeletal disorders: a systematic review of recent longitudinal studies. **American journal of industrial medicine**, v. 53, n. 3, p. 285-323, 2010.

COUTO, H. A. **Ergonomia aplicada ao trabalho**: o manual técnico da máquina humana. Belo Horizonte. Ergo Editora, v.1, 1995.

COUTO, H. de A. **Índice TOR-TOM**: indicador ergonômico da eficácia de pausas e outros mecanismos de regulação. Belo Horizonte: Ergo, 2006.

CRONIN, J. G. The introduction of the Manchester triage scale to an emergency department in the Republic of Ireland. **Accident and emergency nursing**, v. 11, n. 2, p. 121-125, 2003.

CUONG, D. M.; ZHU, S.; ZHU, Y. Effects of tyre inflation pressure and forward speed on vibration of an unsuspended tractor. **Journal of Terramechanics**, v. 50, n. 3, p. 185-198, 2013.

DUL, J.; WEERDMEESTER, B. **Ergonomia prática**. São Paulo: Edgard Blucher. 3ª ed. rev. e amp. 2012.

FERNANDES, H. C.; BRITO, A. B.; MINETTE, L. J.; LEITE, D. M.; LEITE, E. S. Aplicação de índices ergonômicos na avaliação da cabine de um trator florestal "feller-buncher". **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 90, p. 273-281, 2011.

FERNANDES, H. C.; BRITO, A. B.; MINETTE, L. J.; SANTOS, N. T.; RINALDI, P. C. N. Avaliação ergonômica da cabine de um trator florestal. **Revista Ceres**, v. 57, n.3, p. 307-314, 2010.

FERNANDES, H. C.; BRITO, A. B.; SANTOS, N. T.; MINETTE, L. J.; RINALDI, P. C. N. Análise antropométrica de um grupo de operadores brasileiros de "feller-buncher". **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 81, p. 17-25, 2009.

FIEDLER, N. C.; SANTOS, A. M. L.; GATTO, A. C.; LOPES, E. S.; OLIVEIRA, J. T. S. Avaliação das condições do ambiente de trabalho em atividades de poda de árvores. **Revista Cerne**, Lavras, v. 13, n. 1, p. 19-24, 2007.

FIEDLER, N. C.; SOUZA, A. P.; MINETTE, L. J.; MACHADO, C. C.; TIBIRIÇÁ, A. C. G. Análise de posturas na colheita florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 23, n. 4, p. 435-441, 1999.

FIEDLER, N. C.; VENTUROLI, F.; MINETTE, L. J.; VALE, A. T. Diagnóstico de fatores humanos e condições de trabalho em marcenarias no distrito federal. **Floresta**, v. 31, n. 1/2, 2001.

FONSECA, A.; AGHAZADEH, F.; HOOP, C.; IKUMA, L.; AL-QAISI, S. Effect of noise emitted by forestry equipment on workers' hearing capacity. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 46, p. 105-112, 2015.

FONTANA, G.; SEIXAS F. Avaliação ergonômica do posto de trabalho de modelos de "forwarder" e "skidder". **Revista Árvore**, v. 31, n.1, p. 71-81, 2007.

FRUMKIN, A. A.; ZINCHENKO, T. P.; VINOKUROV, L. V. **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ЭРГОНОМИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ (Methods and means of ergonomics during design)**. Transport University: Saint-Petersburg, 1999, 178 p.

FUNDACENTRO - FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO. **Norma de Higiene Ocupacional NHO 09 - Procedimento Técnico - Avaliação da Exposição Ocupacional a Vibração de Corpo Inteiro**. São Paulo: Fundacentro, 2013, 64 p.

GERASIMOV, Y.; SOKOLOV, A. Ergonomic characterization of harvesting work in Karelia. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 30, n. 2, 2009.

GERASIMOV, Y.; SOKOLOV, A. Ergonomic evaluation and comparison of wood harvesting systems in Northwest Russia. **Applied ergonomics**, v. 45, n. 2, p. 318-338, 2014.

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de Estatística em Ecologia**. 1. Ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.

GUIMARÃES, L. B. M.; ANZANELLO, M. J.; RIBEIRO, J. L. D.; SAURIN, T. A. Participatory ergonomics intervention for improving human and production outcomes of a Brazilian furniture company. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 49, p. 97-107, 2015.

GUIMARÃES, L. B. M.; RIBEIRO, J. L. D.; RENNER, J. S.; OLIVEIRA, P. A. B. Worker evaluation of a macroergonomic intervention in a Brazilian footwear company. **Applied Ergonomics**, v. 45, n. 4, p. 923-935, 2014.

GUIMARÃES, P. P.; FIEDLER, N. C.; LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P.; PELISSARI, A. L. Fatores humanos e condições de trabalho das atividades em uma fábrica de ferramentas. **Nativa**, v. 1, n. 1, p. 49-55, 2013.

HÄGGSTRÖM, C.; ÖHMAN, M.; BURSTRÖM, L.; NORDFJELL, T.; LINDROOS, O. Vibration Exposure in Forwarder Work: Effects of Work Element and Grapple Type. **Croatian Journal of Forest Engineering**, v. 37, n. 1, p. 107-118, 2016.

HANCOCK, P. A.; VASMATZIDIS, I. Effects of heat stress on cognitive performance: the current state of knowledge. **International Journal of Hyperthermia**, v. 19, n. 3, p. 355-372, 2003.

HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; MOORE, R.; HANCHER, M.; TURUBANOVA, S.; TYUKAVINA, A.; THAU, D.; STEHMAN, S.; GOETZ, S.; LOVELAND, T. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. **Science**, v. 342, n. 6160, p. 850-853, 2013.

IIDA, I.; GUIMARÃES, L. B. M. **Ergonomia**: projeto e produção. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2016. 850 p.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Dados do Relatório IBÁ 2018** – Ano-base 2017. 2018. Disponível em: < <https://www.iba.org/publicacoes>> Acesso em: 10 fev. 2019.

INTERNATIONAL ERGONOMICS ASSOCIATION. Definition and Domains of Ergonomics. **What is ergonomics?** Disponível em: <http://www.iea.cc/whats/>. Acesso em: 27 nov. 2018.

JANNUZZI, P. M. **Indicadores sociais no Brasil**: conceitos, fontes de dados e aplicações. Campinas: Alínea, 2004.

JÄRRENDAL, D.; TINGGÅRD DILLIKÅS, H. Engreppsskördare med Head-Up Display. **Arbetsrapport**, v. 625, 2006.

JI, X.; EGER, T. R.; DICKEY, J. P. Evaluation of the vibration attenuation properties of an air-inflated cushion with two different heavy machinery seats in multi-axis vibration environments including jolts. **Applied Ergonomics**, v. 59, part A, p. 293-301, 2017.

KLEINER, B. M. Macroergonomic analysis and design (MEAD). In: STANTON, N. A.; HEDGE, A.; BROOKHUIS, K.; SALAS, E.; HENDRICK, H. W. (Ed.), **Handbook of human factors and ergonomics methods**. New York: CRC Press, 2004, p. 90-1-90-7.

LANGER, T. H.; IVERSEN, T. K.; ANDERSEN, N. K.; MOURITSEN, O. Ø.; HANSEN, M. R. Reducing whole-body vibration exposure in backhoe loaders by education of operators. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 42, n. 3, p. 304-311, 2012.

LATKO, W. A.; ARMSTRONG, T. J.; FOULKE, J. A.; HERRIN, G. D.; RABONRN, R. A.; ULIN, S. S. Development and evaluation of an observational method for assessing repetition in hand tasks. *American Industrial Hygiene Association Journal*, v. 58, p. 278-285, 1997.

LEITE, A. M. P.; SOARES, T. S.; NOGUEIRA, G. S.; PEÑA, S. V. Perfil e qualidade de vida de trabalhadores de colheita florestal. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.36, n.1, p.161-168, 2012.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem técnica e de custos do Harvester no corte de madeira de eucalipto no sistema de toras curtas. **Scientia Forestalis**, v. 41, n. 98, p. 205-215, 2013.

LEITE, E. S.; FERNANDES, H. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; GUEDES, I. L. Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo "forwarder". **Revista Árvore**, v.38, n.5, p.879-887, 2014.

LEVESON, N. A new accident model for engineering safer systems. **Safety Science**, v. 42, n. 4, p. 237-270, 2004.

LIMA, J. S. S. SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; OLIVEIRA, R. B. Avaliação de alguns fatores ergonômicos nos tratores "feller-buncher" e "skidder" utilizados na colheita de madeira. **Revista Árvore**, v. 29, n.2, p. 291-298, 2005.

LOPES, E. S.; OLIVEIRA, F. M.; MALINOVSKI, J. R.; SILVA, R. H. Avaliação biomecânica de trabalhadores nas atividades de poda manual e semimecanizada de Pinus taeda. **Floresta**, Curitiba, v. 43, n. 1, p. 9-18. 2013.

LOPES, E. S. OLIVEIRA, F. M. Avaliação da carga de trabalho físico e da postura de trabalhadores na produção de mudas florestais. **Cerne**, v. 17, n. 4, p. 573-582, 2011.

LOPES, E. S.; OLIVEIRA, D.; SAMPIETRO, J. A. *Influence of wheeled types of a Skidder on productivity and cost of the forest harvesting*. **Floresta**, v. 44, n. 1, p. 53-62, 2014.

LOPES, E. S.; VOSNIAK, J.; FIEDLER, N. C.; INOUE, M. T. Análise dos fatores humanos e condições de trabalho em operações de implantação florestal. **Floresta**, v. 41, n. 4, p. 707-714, 2011.

LOPES, E. S.; ZANLORENZI, E.; COUTO, L. C. Análise dos fatores humanos e condições gerais de trabalho no processamento mecânico primário e secundário da madeira. **Ciência Florestal**, v. 13, n. 2, p. 177-183, 2004.

LUNDBÄCK, M.; HÄGGSTRÖM, C.; NORDFJELL, T. Worldwide trends in the methods and systems for harvesting, extraction and transportation of roundwood. In: International Forest Engineering Conference, 6., 2018, Rotorua. **Anais...** Rotorua: SOBAMA, 2018. p. 1-3.

LUNDIN, M.; MALMBERG, A.; NAESLUND, C. O. Head-up-display i engreppskördare. **Arbetsrapport**, v. 599, 2005.

MACHADO, C. C. Introdução. In.: MACHADO, C. C. (Ed.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: 3. Ed. UFV, 2014.

MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MARZANO, F. L. C.; SOUZA, A. P.; MINETTE, L. J. Proposal for an ergonomic conformity index for evaluation of harvesters and forwarders. **Revista Árvore**, v. 41, n. 4, e410401, 2017.

McATAMNEY, L.; CORLETT, E. N. RULA: a survey method for the investigation of world-related upper limb disorders. **Applied Ergonomics**, v. 24, n. 2, p. 91-99, 1993.

MEHTA, C. R.; TEWARI, V. K. *Seating discomfort for tractor operators – a critical review.* **International Journal of Industrial Ergonomics**. v. 25, p. 661-674, 2000.

MINETTE, L. J.; MOREIRA, F. M. T.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; SILVA, K. R. Análise técnica e econômica do *forwarder* em três subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, v. 28, n. 1, p. 91-97, 2004.

MINETTE, L. J.; SCHETTINO, S.; SOUZA, A. P.; SORANSO, D. R.; BARBOSA, V. A. Colheita de madeira danificada pelo vento: carga física de trabalho e risco de LER/DORT aos trabalhadores. **Nativa**, v. 6, n. 1, p. 56-65, 2018.

MINETTE, L. J.; SILVA, E. P.; SOUZA, A. P.; SILVA, K. R. Avaliação dos níveis de ruído, luz e calor em máquinas de colheita florestal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 6, 2007.

MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; SILVA, E. P.; MEDEIROS, N. M. Postos de trabalho e perfil de operadores de máquinas de colheita florestal. **Revista Ceres**, v. 55, n. 1, p. 66-73, 2008.

MOORE, S.; GARG, A. The strain index: a proposed method to analyze jobs for risk of distal upper extremity disorders. **American Industrial Hygiene Association Journal**, n. 56, p. 443-458. 1995.

MURPHY, L. A.; ROBERTSON, M. M.; CARAYON, P. The next generation of macroergonomics: Integrating safety climate. **Accident Analysis & Prevention**, v. 68, p. 16-24, 2014.

NICHOLLS, A.; BREN, L.; HUMPHREYS, N. Harvester Productivity and Operator Fatigue: Working Extended Hours. **International Journal of Forest Engineering**, v. 12, n. 2, p. 57-65, 2004.

OLIVEIRA, D.; LOPES, E. S.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica e econômica do *Forwarder* na extração de toras de pinus. **Scientia Forestalis**, v. 37, n. 84, p. 525-533, 2009.

OLIVEIRA, F. M. Revisão sobre a colheita de eucalipto em sistema de toras curtas (*cut-to-length*) no Brasil. **Revista da União Latino-americana de Tecnologia**, n.1, p. 42-54, 2013.

OLIVEIRA, F. M.; ALVES, E. Fatores humanos e condições gerais de trabalho no corte de pinus com motosserra no Paraná. **Revista da União Latino-americana de Tecnologia**, v. 5, n.1, p. 42-54, 2017.

OLIVEIRA, F. M.; LOPES, E. S.; RODRIGUES, C. K. Avaliação da carga de trabalho físico e biomecânica de trabalhadores na roçada manual e semimecanizada. **Cerne**, v. 20, n. 3, p. 419-425, 2014.

PAGNUSSAT, M. B.; LOPES, E. S. The behavioral profile of harvester operators. **Revista Árvore**, vol. 41, n.2, 2017. Epub: 410210

PAINI, A. C.; LOPES, E. S.; OLIVEIRA, F. M. Postura corporal de operador no carregamento mecanizado de madeira – estudo de caso. **Enciclopédia Biosfera**, v. 13, n. 23, p. 962-974, 2016.

PENNA, E. S.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; SILVA, E.; SILVA, E. N. Avaliação ergonômica de modelos de cabos aéreos utilizados na extração florestal. **Revista Árvore**, v.35, n.3, p.565-571, 2011.

PESCADOR, C. M. M.; LISBOA, G. S.; STEPKA, T. F.; KURCHAITT, S. M. Segurança do trabalho na colheita florestal: resultados iniciais. **Ambiência**, v.9, n.2, p. 397-410, 2013.

PESCADOR, C. M. M.; LISBOA, G. S.; STEPKA, T. F.; KURCHAITT, S. M. Segurança do trabalho na colheita florestal: resultados iniciais. **Ambiência**, v.9, n.2, p. 397-410, 2013.

PICOLOTO, D.; SILVEIRA, D. Prevalência de sintomas osteomusculares e fatores associados em trabalhadores de uma indústria metalúrgica de Canoas - RS. **Ciência e Saúde Coletiva**, v. 13, n. 2, p. 507-516, 2008.

PIMENTA, A. S.; MINETTE, L. J.; FARIA, M. M.; SOUZA, A. P.; VITAL, B. R.; GOMES, J. M. Avaliação do perfil de trabalhadores e de condições ergonômicas na atividade de produção de carvão vegetal em bateria de fornos de superfície do tipo “rabo-quente”. **Revista Árvore**, v.30, n.5, p. 779-785, 2006.

RAMSEY, J. D.; BURFORD, C. L.; BESHIR, M. Y.; JENSEN, R. C. Effects of workplace thermal conditions on safe work behavior. **Journal of Safety Research**, v. 14, p. 105-114, 1983.

RAMSEY, J. D.; KWON, G. Recommended alert limits for perceptual motor loss in hot environments. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 9, n. 3, p. 245-57, 1992.

ROCHA, E. B.; FIEDLER, N. C.; ALVES, R. T.; LOPES, E. S.; GUIMARÃES, P. P.; PERONI, L. Produtividade e custos de um sistema de colheita de árvores inteiras. **Cerne**, v. 15, n. 3, p. 372-381, 2009.

SALERNO, M. S. Análise ergonômica do trabalho e projeto organizacional: uma discussão comparada. **Produção**, n. especial, 2000, p. 45-60.

SANT'ANNA, C. M.; MALINOVSKI, J. R. Análise de fatores humanos e condições de trabalho de operadores de motosserra de Minas Gerais. **Cerne**, v. 8, n. 1, p. 115-121, 2002.

SANTOS, L. N.; FERNANDES H. C.; SOUZA, A. P.; FURTADO JÚNIOR, M. R.; SILVA, R. M. F. Avaliação dos níveis de ruído e vibração de um conjunto trator-pulverizador, em função da velocidade de trabalho. **Engenharia na Agricultura**, v. 22, n. 2, p. 112-118, 2014.

SCHETTINO, S.; CAMPOS, J. C. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P. *Work precariousness: ergonomic risks to operators of machines adapted for forest harvesting*. **Revista Árvore**, v. 41, n. 1, e410109, 2017.

SCHETTINO, S.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. L.; SOUZA, A. P. Avaliação ergonômica do processo de mensuração florestal. **Scientia Forestalis**, v. 44, n. 111, p. 575-586, 2016.

SCHLOSSER, J. F.; DALLMEYER, A.; DEBIASI, H.; MENEGAS, M. T.; NIETIEDT, G. H. Alteração do campo visual em função do uso de cabinas em tratores agrícolas. **Engenharia Agrícola**, v.31, n.2, p.359-366, 2011.

SHERWIN, L. M.; OWENDE, P. M. O.; KANALI, C. L.; LYONS, J.; WARD, S. M. *Influence of tyre inflation pressure on whole-body vibrations transmitted to the operator in a cut-to-length timber harvester*. **Applied Ergonomics**, v. 35, n.3, p. 253-261, 2004.

SILVA, C. B.; SANT'ANNA, C. M.; MINETTE, L. J. Avaliação ergonômica do "feller-buncher" utilizado na colheita de eucalipto. **Cerne**, v.9, n.1, p.109-118, 2003.

SILVA, E. P.; MINETTE, L. J.; SANCHES, A. L. P.; SOUZA, A. P.; SILVA, F. L.; MAFRA, S. C. T. Prevalência de sintomas osteomusculares em operadores de máquina de colheita florestal. **Revista Árvore**, v.38, n.4, p.739-745, 2014.

SILVA, E. P.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; MARÇAL, M. A.; SANCHES, A. L. P. Fatores organizacionais e psicossociais associados ao risco de LER/DORT em operadores de máquinas de colheita florestal. **Revista Árvore**, v.37, n.5, p.889-895, 2013.

SILVERSTEIN, B. A.; FINE, L. J. ARMSTRONG, T. J. *Occupational factors and carpal tunnel syndrome*. **American Journal of Industrial Medicine**, v. 11, n. 3, p. 343-358, 1987.

SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do *forwarder* na extração de madeira em povoamento de eucalipto de primeiro corte. **Floresta**, v. 40, n. 4, p. 711-720, 2010.

SKOGFORSK – THE FORESTRY RESEARCH INSTITUTE OF SWEDEN. **Ergonomic guidelines for forest machines**. Uppsala: Swedish National Institute for Working Life, 1999. 86 p.

SOUZA, A. P.; DUTRA, R. B. C.; MINETTE, L. J.; MARZANO, F. L. C.; SCHETTINO, S. Metas de produção para trabalhadores de corte florestal. **Revista Árvore**, v.39, n.4, p.713-722, 2015.

SWIFT, D. W.; FREEMAN, M. H. *Application of head-up displays to cars*. **Displays**, v. 7, n. 3, p. 107-110, 1986.

SYNWOLDT, U.; GELLERSTEDT, S. *Ergonomic initiatives for machine operators by the Swedish logging industry*. **Applied Ergonomics**, v. 34, n. 2, p. 149-156, 2003.

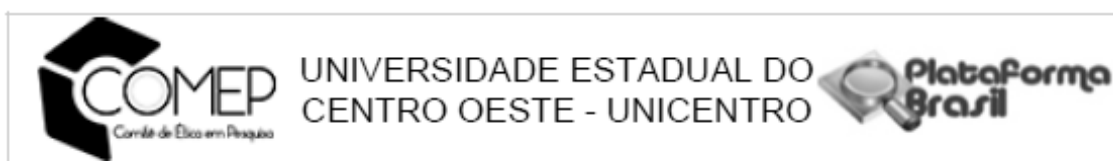
VINK, P.; IMADA, A. S.; ZINK, K. J. *Defining stakeholder involvement in participatory design processes*. **Applied Ergonomics**, v. 39, n. 4, p. 519-526, 2008.

WISNER, A. **A inteligência do trabalho**: textos selecionados de ergonomia. São Paulo: FUNDACENTRO, 1994. 191 p. Tradução: Roberto Leal Ferreira.

ZANDER, J. **Ergonomics in machine desing**. *A case study of the self-propelled combine harvester*. Wageningen: Mededelingen Landboowhoge-School, 1972. 161p.

ANEXOS

Anexo 1. Parecer de aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa (COMEP).



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: DESENVOLVIMENTO DE NOVA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO ERGONÔMICA EM OPERAÇÕES FLORESTAIS

Pesquisador: FELIPE MARTINS DE OLIVEIRA

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 76869617.1.0000.0106

Instituição Proponente: Universidade Estadual do Centro Oeste - UNICENTRO

Patrocinador Principal: Fundação Araucária

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 2.451.557

Apresentação do Projeto:

Trata-se da apreciação do projeto de pesquisa intitulado DESENVOLVIMENTO DE NOVA METODOLOGIA PARA AVALIAÇÃO ERGONÔMICA EM OPERAÇÕES FLORESTAIS, de interesse e responsabilidade do proponente FELIPE MARTINS DE OLIVEIRA.

Esta pesquisa visa desenvolver uma nova metodologia para avaliações ergonômicas em operações florestais, de forma a criar um indicador da situação ergonômica em que o trabalhador está sujeito e determinar sua influência na produtividade. O estudo será dividido em levantamento das variáveis ergonômicas, desenvolvimento e integração de indicadores ergonômicos e relacionamento das variáveis ergonômicas com a produtividade.

Os dados serão coletados em operações de colheita de madeira de Pinus spp. e Eucalyptus spp. em regime de corte raso no sistema de colheita da madeira de toras curtas.

A população pesquisada será composta por operadores devidamente treinados e experientes, onde estes serão caracterizados quanto à idade, peso, estatura, tempo na função e outras variáveis antropométricas. Inicialmente será realizado um estudo piloto para obtenção da intensidade amostral, ou seja, o número mínimo de repetições necessárias para avaliação de cada variável ergonômica ao nível de 95% de probabilidade e erro relativo de 5%. Paralelamente à coleta das variáveis ergonômicas, será realizado um estudo de tempos e movimentos.

As variáveis ergonômicas de visibilidade, posturas, repetitividade, stress térmico, ruído, vibrações

Endereço: Rua Simeão Camargo Varella de Sá, 03 - Campus CEDETEG - (ao lado dos laboratórios do curso de Farmácia)
Bairro: Vila Carlí **CEP:** 85.040-080
UF: PR **Município:** GUARAPUAVA
Telefone: (42)3629-8177 **Fax:** (42)3629-8100 **E-mail:** comep_unicentro@yahoo.com.br



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO
CENTRO OESTE - UNICENTRO



Continuação do Parecer: 2.451.557

e iluminância serão analisadas de acordo com as metodologias tradicionais.

Depois disso, elas serão transformadas em indicadores que podem ir de 0 a 1, para só então testar as relações entre si. Também será realizada uma análise de componentes principais de forma a verificar a real influência das variáveis ergonômicas na produtividade.

Objetivo da Pesquisa:

Objetivo Primário:

Desenvolver uma nova metodologia de avaliação ergonômica em operações florestais que permita correlacionar as variáveis ergonômicas relacionadas com a operação, contribuindo para a melhoria das condições de conforto, segurança e saúde dos trabalhadores.

Objetivo Secundário:

Avaliar o efeito das variáveis ergonômicas nos índices de produtividade.

Avaliação dos Riscos e Benefícios:

Segundo o pesquisador:

Riscos:

Não é previsto risco direto à saúde ou segurança do trabalhador, pois o estudo não modificará nenhuma condição ou método de trabalho, sendo apenas estudada a real condição de trabalho a que os sujeitos estão expostos (observação da realidade). Entretanto, o sujeito pode se sentir desconfortável pelo fato de estar sendo observado diretamente durante sua jornada de trabalho durante alguns dias.

Benefícios:

Geração de conhecimento para entender, prevenir ou aliviar problemas que possam afetar o bem-estar dos sujeitos da pesquisa e de outros indivíduos. Contribuição com os gestores para propostas de melhorias na organização do trabalho com vistas à obtenção de melhores condições de conforto, bem-estar, segurança e saúde dos trabalhadores florestais.

Comentários e Considerações sobre a Pesquisa:

A presente pesquisa apresenta relevância científica com método adequado para atingir aos objetivos propostos.

Esta pesquisa inédita no país (segundo o pesquisador) contribuirá com as ciências florestais, possibilitando a realização de uma análise ergonômica de forma integrada contemplando todas as variáveis ergonômicas e propostas de ações para melhoria das condições de conforto, segurança e saúde dos trabalhadores.

Endereço: Rua Simeão Camargo Varella de Sá, 03 - Campus CEDETEG - (ao lado dos laboratórios do curso de Farmácia)
Bairro: Vila Carli CEP: 85.040-080
UF: PR Município: GUARAPUAVA
Telefone: (42)3629-8177 Fax: (42)3629-8100 E-mail: comep_unicentro@yahoo.com.br



Continuação do Parecer: 2.451.557

Considerações sobre os Termos de apresentação obrigatória:

- 1) Check List inteiramente preenchido;
- 2) Folha de rosto com campos preenchidos e com carimbo identificador e assinada por Eduardo da Silva Lopes, coordenador do PPGF;
- 3) Carta de anuência/autorização: assinada por Tarcísio Ladeira Filho, responsável pela empresa Arauto Florestal Arapoti S/A.
- 4) TCLE (termo de consentimento livre e esclarecido):. apresentado.
- 4.1) TALE (Termo de Assentimento para menores de idade ou incapazes): não se
- 5) Projeto de pesquisa completo: anexado pelo pesquisador;
- 6) Instrumento para coleta dos dados (questionário/roteiro/questões norteadora): anexado
- 7) Cronograma do projeto completo e da Plataforma : apresentado. A vigência da pesquisa é de 12/17 a 06/18 ;
- 8)- Orçamento: apresentado.

Recomendações:

(1)- Ressalta-se que segundo a Resolução 466/2012, item XI – DO PESQUISADOR RESPONSÁVEL, parágrafo f), é de responsabilidade do pesquisador "manter os dados da pesquisa em arquivo, físico ou digital, sob sua guarda e responsabilidade, por um período de 5 anos após o término da pesquisa."

(2)- O TCLE, Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, deve ser emitido em duas vias de igual teor. Todas as vias devem ser assinadas pelo pesquisador responsável e pelo participante. Uma via deverá ser entregue ao participante e a outra fará parte dos documentos do projeto, a serem mantidos sob a guarda do pesquisador.

Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:

A presente pesquisa está em conformidade com a Resolução 466/2012. Este CEP considera que todos os esclarecimentos necessários foram devidamente prestados, estando este projeto de pesquisa apto a ser realizado, devendo-se observar as informações presentes no item "Recomendações".

Considerações Finais a critério do CEP:

Em atendimento à Resolução CNS/MS- 466/2012, deverá ser encaminhado ao CEP o relatório parcial assim que tenha transcorrido um ano da pesquisa e relatório final em até trinta dias após o término da pesquisa.

Endereço: Rua Simeão Camargo Varella de Sá, 03 - Campus CEDETEG - (ao lado dos laboratórios do curso de Farmácia)
Bairro: Vila Carlí CEP: 85.040-080
UF: PR Município: GUARAPUAVA
Telefone: (42)3629-8177 Fax: (42)3629-8100 E-mail: comep_unicentro@yahoo.com.br



Continuação do Parecer: 2.451.557

Qualquer alteração no projeto deverá ser encaminhada para análise deste comitê.

Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_880901.pdf	12/12/2017 08:48:07		Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	tcle.doc	12/12/2017 08:47:21	FELIPE MARTINS DE OLIVEIRA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projetodetalhado.pdf	03/10/2017 14:32:56	FELIPE MARTINS DE OLIVEIRA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	TermoAceiteEmpresa.pdf	12/09/2017 11:50:57	FELIPE MARTINS DE OLIVEIRA	Aceito
Folha de Rosto	folhaderostopesquisa.pdf	12/09/2017 11:45:40	FELIPE MARTINS DE OLIVEIRA	Aceito
Outros	CHECKLIST_COMEP.pdf	22/03/2017 10:46:07	FELIPE MARTINS DE OLIVEIRA	Aceito
Outros	QuestionarioFatoresHumanosECondTrabalho.pdf	22/03/2017 10:45:24	FELIPE MARTINS DE OLIVEIRA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

GUARAPUAVA, 20 de Dezembro de 2017

Assinado por:
Roberta Letícia Krüger
(Coordenador)

Endereço: Rua Simeão Camargo Varella de Sá, 03 - Campus CEDETEG - (ao lado dos laboratórios do curso de Farmácia)
Bairro: Vila Carlí CEP: 85.040-080
UF: PR Município: GUARAPUAVA
Telefone: (42)3629-8177 Fax: (42)3629-8100 E-mail: comep_unicentro@yahoo.com.br

Anexo 2. Base de dados brutos utilizada para os cálculos.

Máquina	Período	Produtividade (m³/he)	Vibração média (m/s²)	Dose de Vibração (m/s ^{1,75})	Ruído (dB)	Repetitividade (SI)	Postura (Cód. RULA)	Calor (IBUTG)	Iluminância (lux)	Visibilidade frontal (graus)	Visibilidade lateral (graus)
Feller buncher	Diurno	130,2	0,78	16,65	61	3	3,00	20	2953	14	7
		159,6	0,72	12,33	62	3	2,00	18	3460	8	8
		127,9	0,79	16,68	73	3	2,00	15	3393	7	7
		173,3	0,71	12,16	66	3	3,00	19	2830	14	6
		149,7	0,72	15,60	63	3	3,00	18	2290	13	11
		128,9	0,69	11,53	63	2,25	2,00	18	3213	11	7
		146,8	0,60	12,40	60	3	3,00	21	3837	16	10
		143,4	0,68	11,47	61	3	2,00	22	2780	15	11
	Noturno	149,5	0,60	13,89	72	3	3,00	16	2700	11	8
		149,7	0,68	11,47	73	2,25	3,00	20	3616	15	4
		153,9	0,62	11,30	68	2,25	2,00	24	3681	21	10
		156,0	0,62	11,30	61	3	2,00	21	2953	26	4
		150,3	0,66	19,27	82	3	2,00	17	188	5	13
		128,7	0,82	15,10	78	2,25	2,00	17	172	5	7
		149,5	0,60	18,48	80	2,25	2,00	17	164	9	3
		135,4	0,96	17,17	87	3	2,00	16	186	5	4
Skidder	Diurno	142,8	0,77	15,45	77	2,25	2,00	16	175	5	3
		128,5	0,88	15,04	63	2,25	2,00	14	182	7	4
		133,4	0,68	11,51	84	2,25	2,00	19	191	8	7
		130,8	0,74	13,29	72	2,25	2,00	17	207	7	8
		128,5	0,85	15,12	90	2,25	2,00	18	238	8	5
		149,9	0,84	15,45	72	2,25	3,00	18	193	11	6
	Noturno	149,7	0,61	10,66	84	3	3,00	20	222	14	6
		141,0	0,78	15,24	71	2,25	3,00	17	202	11	8
		78,3	1,82	32,17	89	2,25	3,27	23	20000	6	27
		75,8	1,08	18,45	87	2,25	3,33	24	20000	7	38
		85,9	1,54	28,58	86	2,25	3,07	17	20000	9	29
		86,9	1,71	31,03	87	3	3,20	21	20000	10	45
Processador	Diurno	81,4	1,75	29,57	90	2,25	3,27	21	20000	19	49
		76,8	1,75	32,79	88	2,25	3,07	22	20000	10	31
		74,0	1,45	28,05	86	2,25	3,20	18	20000	12	23
		83,1	1,52	27,93	91	2,25	3,20	21	20000	20	33
		82,0	1,86	30,77	92	2,25	3,40	20	20000	16	53
		87,5	2,05	33,60	93	2,25	3,40	20	20000	11	46
		92,0	1,45	26,51	90	2,25	3,13	16	20000	8	37
	Noturno	67,4	1,42	25,00	88	2,25	3,33	23	20000	11	48
		82,4	1,43	26,61	83	2,25	3,13	16	125	3	95
		81,9	1,44	25,48	84	2,25	3,20	14	124	3	84
		80,6	1,27	24,64	83	2,25	3,27	17	145	3	81
		85,2	1,24	21,56	77	2,25	3,33	19	149	3	62
		82,5	0,92	23,25	95	3	3,90	15	137	3	77
		80,8	1,21	20,91	94	2,25	3,30	12	187	3	64
Processador	Diurno	72,5	1,20	20,54	90	2,25	3,20	14	152	3	82
		87,0	1,26	21,13	88	3	3,07	12	153	3	75
		90,6	1,22	20,52	91	2,25	3,30	17	123	3	78
		91,2	1,14	20,04	100	2,25	3,30	16	142	3	85
		88,2	1,24	20,74	82	2,25	3,60	16	155	3	64
	Noturno	74,6	1,17	19,85	76	2,25	3,43	15	144	3	75
		50,0	0,47	19,57	65	3	2,00	16	5365	9	6
		43,9	0,45	9,09	67	3	2,00	16	5410	6	6
		42,4	0,45	17,90	80	3	2,00	18	4540	9	8
		42,7	0,54	13,52	68	3	2,00	17	4225	7	11
Processador	Diurno	39,4	0,55	10,48	75	3	2,00	18	4930	6	10
		42,8	0,30	22,72	68	3	2,00	19	5366	8	9
		46,4	0,57	10,44	50	3	2,00	16	5411	7	10
		43,7	0,41	9,51	56	3	3,00	15	4540	12	10
		41,9	0,49	16,99	64	3	2,00	18	4225	8	7
	Noturno	46,1	0,47	14,48	63	4	3,00	20	4930	10	12
		43,2	0,50	9,53	83	4	2,00	22	5365	12	7
		43,8	0,44	8,93	83	3	2,00	23	5410	9	10
		51,9	0,59	28,59	61	3	2,00	16	335	7	8
		47,0	0,47	9,96	55	3	3,00	18	301	10	9
Processador	Diurno	39,3	0,63	14,31	85	4	2,00	18	416	8	5
		46,6	0,52	10,34	56	4	3,00	18	300	10	9
		49,8	0,62	12,83	55	3	3,00	15	287	10	5
		44,9	0,59	19,41	57	3	3,00	14	334	11	11
		37,9	0,72	10,32	76	3	2,00	17	309	9	6
	Noturno	46,3	0,48	8,56	59	3	3,00	16	416	12	8
		45,4	0,48	13,65	60	4	2,00	19	301	8	5
		44,4	0,47	19,94	61	3	2,00	17	288	9	8
		41,4	0,59	11,69	61	3	2,00	18	335	4	7
		44,6	0,50	9,90	61	3	2,00	19	417	9	6

Continua (...)

(...) continuação.

		20,8	0,92	19,97	86	3	3,00	24	7000	12	5
		19,0	0,76	14,18	97	3	2,03	17	7527	10	5
		16,8	1,03	19,74	74	2,25	3,00	16	7510	13	7
		19,7	0,88	15,54	77	2,25	2,27	22	7403	9	7
		19,4	1,00	19,11	69	3	3,20	17	7054	16	9
	Diurno	20,6	1,02	23,21	64	4,5	3,00	18	8413	11	6
		24,8	0,68	13,46	68	3	3,00	17	8473	19	5
		18,4	1,12	20,73	66	2,25	3,00	18	7610	19	14
		22,0	0,77	15,97	75	2,25	3,00	17	7723	16	7
		22,1	0,83	19,99	59	2,25	3,00	18	7807	17	5
		20,7	1,01	20,88	77	3	3,00	15	8237	18	7
Harvester A		19,8	0,93	17,70	79	3	2,10	16	7883	9	10
6x6		24,6	0,68	12,79	50	2,25	3,00	14	365	10	6
		21,4	0,67	12,51	63	3	2,13	18	321	15	7
		25,7	0,71	13,24	64	2,25	3,00	14	297	17	4
		21,3	0,52	9,41	65	2,25	3,00	13	243	15	11
		13,9	0,58	10,72	81	3	3,00	15	301	14	6
	Noturno	19,8	0,87	12,48	75	3	3,00	15	398	16	7
		24,2	0,70	13,12	54	2,25	3,13	16	380	25	8
		19,8	0,65	13,12	76	2,25	3,20	15	335	22	11
		23,6	0,60	13,92	50	2,25	3,13	17	321	21	7
		19,6	0,68	12,41	63	3	3,27	17	255	7	7
		20,0	0,72	14,38	65	3	3,00	17	265	10	10
		22,5	0,86	11,92	61	2,25	3,00	21	285	6	6
		26,4	0,65	14,02	64	2,25	2,23	22	8030	7	9
		27,5	0,44	9,53	58	2,25	2,17	21	8157	9	8
		22,0	0,63	13,35	60	2,25	2,10	23	8337	7	6
		28,4	0,55	10,35	75	2,25	2,07	20	8097	7	5
		34,2	0,47	9,46	72	2,25	2,30	21	8640	7	11
	Diurno	30,7	0,65	15,34	74	2,25	2,20	19	7997	10	7
		29,1	0,45	9,71	61	2,25	2,33	17	7116	10	8
		30,3	0,44	11,39	76	3	2,50	15	4750	16	8
		28,7	0,53	10,06	50	2,25	3,13	16	6921	13	5
		30,1	0,63	13,35	56	2,25	2,47	15	7577	8	9
		30,6	0,61	14,38	56	3	3,20	22	8001	14	6
Harvester B		28,8	0,63	14,89	55	2,25	3,13	16	9200	15	6
8x8		27,7	0,44	8,25	50	2,25	3,23	16	308	6	14
		34,1	0,50	10,92	63	3	2,10	18	360	9	7
		38,2	0,52	11,02	64	2,25	2,47	17	259	8	7
		36,3	0,43	7,91	65	2,25	2,10	18	213	8	6
		36,5	0,48	18,13	81	2,25	3,00	18	268	7	12
	Noturno	35,5	0,51	10,84	75	2,25	2,10	21	329	10	5
		31,7	0,43	13,23	54	2,25	2,53	18	241	9	6
		34,5	0,38	7,37	76	2,25	3,00	18	262	10	10
		30,4	0,36	8,04	50	2,25	2,33	17	301	9	9
		32,5	0,38	7,47	63	3	2,07	17	272	7	8
		29,0	0,40	9,35	65	2,25	2,20	15	281	7	9
		29,0	0,42	8,19	61	2,25	2,40	15	239	8	11
		34,4	0,74	16,67	80	3,5	2,00	17	20000	6	35
		49,7	0,76	17,93	81	3	3,00	18	20000	4	30
		33,8	0,70	14,41	50	2,25	2,00	23	20000	3	33
		31,4	0,87	18,06	81	3	3,00	25	20000	2	23
		54,3	0,90	18,87	77	2,25	2,00	20	20000	5	30
	Diurno	46,0	0,87	20,75	78	1,5	3,00	17	20000	25	41
		42,5	0,94	20,03	76	1,5	3,00	18	20000	11	38
		42,9	1,12	24,51	76	1,5	2,00	19	20000	18	25
		40,2	0,69	13,49	68	2,25	3,00	21	20000	12	31
		42,3	1,03	22,30	68	2,25	3,00	25	20000	14	21
		47,0	0,95	20,89	69	2,25	2,00	26	20000	15	23
Forwarder		48,8	0,93	20,29	55	1,5	3,00	20	20000	17	25
		36,0	1,05	24,19	63	4,5	3,00	13	182	12	27
		42,3	0,86	19,81	76	2,25	2,00	13	207	6	26
		43,1	0,71	17,60	70	3	3,00	12	240	10	32
		43,6	0,73	17,87	61	2,25	3,00	12	191	5	37
		39,0	0,84	20,07	74	2,25	3,00	18	182	14	26
	Noturno	42,9	0,82	22,09	81	1,5	2,00	15	240	11	31
		46,5	0,61	10,78	67	3	2,00	15	211	9	31
		38,1	0,72	17,59	67	2,25	3,00	15	215	10	30
		34,3	0,77	17,67	77	2	2,00	15	213	13	29
		44,8	0,72	16,69	77	4,5	3,00	16	160	10	28
		37,8	0,84	22,92	87	2,25	3,00	16	166	7	27
		43,0	1,00	21,43	81	3	3,00	16	221	9	29

Anexo 3. Base de dados normalizados utilizada para os cálculos.

Máquina	Período	Produtividade e	Vibração Média	Dose de Vibração	Ruído	Repetitividade	Postura	Exposição ao Calor	Iluminância	Visibilidade frontal	Visibilidade lateral
<i>Feller buncher</i>	Diurno	1,65	-0,04	0,03	-0,86	0,67	0,64	0,63	-0,35	0,77	-0,60
		2,35	-0,24	-0,70	-0,82	0,67	-1,24	0,19	-0,28	-0,44	-0,55
		1,60	-0,02	0,03	0,12	0,67	-1,24	-1,08	-0,28	-0,64	-0,60
		2,67	-0,26	-0,72	-0,49	0,67	0,64	0,38	-0,36	0,77	-0,65
		2,11	-0,22	-0,15	-0,71	0,67	0,64	0,20	-0,44	0,57	-0,41
		1,62	-0,33	-0,83	-0,71	-0,65	-1,24	0,06	-0,31	0,16	-0,60
		2,04	-0,58	-0,68	-0,94	0,67	0,64	1,09	-0,22	1,17	-0,46
		1,96	-0,34	-0,84	-0,93	0,67	-1,24	1,45	-0,37	0,97	-0,41
		2,11	-0,58	-0,43	0,02	0,67	0,64	-0,61	-0,38	0,16	-0,55
		2,11	-0,34	-0,84	0,08	-0,65	0,64	0,65	-0,25	0,97	-0,74
	2,21	-0,53	-0,87	-0,28	-0,65	-1,24	2,18	-0,24	2,19	-0,46	
	2,26	-0,53	-0,87	-0,88	0,67	-1,24	1,12	-0,35	3,20	-0,74	
	Noturno	2,13	-0,40	0,46	0,86	0,67	-1,24	-0,21	-0,74	-1,05	-0,31
		1,62	0,08	-0,23	0,53	-0,65	-1,24	-0,16	-0,74	-1,05	-0,60
		2,11	-0,56	0,33	0,70	-0,65	-1,24	-0,30	-0,74	-0,24	-0,79
		1,78	0,48	0,11	1,28	0,67	-1,24	-0,47	-0,74	-1,05	-0,74
		1,95	-0,09	-0,17	0,41	-0,65	-1,24	-0,62	-0,74	-1,05	-0,79
		1,61	0,22	-0,24	-0,77	-0,65	-1,24	-1,42	-0,74	-0,64	-0,74
		1,73	-0,35	-0,83	1,02	-0,65	-1,24	0,28	-0,73	-0,44	-0,60
		1,67	-0,18	-0,53	0,04	-0,65	-1,24	-0,25	-0,73	-0,64	-0,55
1,61		0,15	-0,23	1,49	-0,65	-1,24	-0,06	-0,73	-0,44	-0,69	
2,12		0,11	-0,17	0,06	-0,65	0,64	0,26	-0,73	0,16	-0,65	
2,11	-0,54	-0,97	1,01	0,67	0,64	0,75	-0,73	0,77	-0,65		
1,91	-0,06	-0,21	-0,02	-0,65	0,64	-0,36	-0,73	0,16	-0,55		
<i>Skidder</i>	Diurno	0,42	2,95	2,62	1,41	-0,65	1,14	1,93	2,05	-0,85	0,35
		0,36	0,81	0,33	1,26	-0,65	1,27	2,35	2,05	-0,64	0,88
		0,60	2,15	2,02	1,22	-0,65	0,77	-0,29	2,05	-0,24	0,45
		0,63	2,64	2,43	1,29	0,67	1,02	1,27	2,05	-0,04	1,21
		0,49	2,76	2,18	1,53	-0,65	1,14	1,17	2,05	1,78	1,40
		0,39	2,75	2,72	1,38	-0,65	0,77	1,36	2,05	-0,04	0,55
		0,32	1,88	1,93	1,21	-0,65	1,02	0,10	2,05	0,37	0,16
		0,54	2,07	1,91	1,65	-0,65	1,02	1,16	2,05	1,98	0,64
		0,51	3,07	2,39	1,70	-0,65	1,39	0,86	2,05	1,17	1,59
		0,64	3,62	2,86	1,77	-0,65	1,39	0,82	2,05	0,16	1,26
	0,75	1,88	1,67	1,49	-0,65	0,89	-0,76	2,05	-0,44	0,83	
	0,16	1,79	1,42	1,33	-0,65	1,27	1,72	2,05	0,16	1,36	
	Noturno	0,52	1,82	1,69	0,90	-0,65	0,89	-0,64	-0,74	-1,45	3,60
		0,51	1,85	1,50	1,00	-0,65	1,02	-1,21	-0,74	-1,45	3,07
		0,48	1,35	1,36	0,98	-0,65	1,14	-0,20	-0,74	-1,45	2,93
		0,58	1,28	0,85	0,41	-0,65	1,27	0,44	-0,74	-1,45	2,02
		0,52	0,35	1,13	1,97	0,67	2,33	-1,02	-0,74	-1,45	2,74
		0,48	1,19	0,74	1,84	-0,65	1,21	-1,87	-0,74	-1,45	2,12
		0,28	1,15	0,68	1,53	-0,65	1,02	-1,40	-0,74	-1,45	2,98
		0,63	1,34	0,77	1,38	0,67	0,77	-2,04	-0,74	-1,45	2,64
0,71		1,23	0,67	1,65	-0,65	1,21	-0,34	-0,74	-1,45	2,79	
0,73		0,98	0,59	2,33	-0,65	1,21	-0,57	-0,74	-1,45	3,12	
0,66	1,29	0,71	0,83	-0,65	1,77	-0,58	-0,74	-1,45	2,12		
0,33	1,06	0,56	0,35	-0,65	1,46	-0,86	-0,74	-1,45	2,64		
Diurno	-0,25	-0,95	0,51	-0,59	0,67	-1,24	-0,59	-0,01	-0,24	-0,65	
	-0,39	-1,01	-1,24	-0,40	0,67	-1,24	-0,67	0,00	-0,85	-0,65	
	-0,43	-1,01	0,24	0,70	0,67	-1,24	0,10	-0,12	-0,24	-0,55	
	-0,42	-0,75	-0,50	-0,29	0,67	-1,24	-0,26	-0,17	-0,64	-0,41	
	-0,50	-0,73	-1,00	0,27	0,67	-1,24	0,19	-0,07	-0,85	-0,46	
	-0,42	-1,45	1,04	-0,35	0,67	-1,24	0,42	-0,01	-0,44	-0,50	
	-0,34	-0,65	-1,01	-1,78	0,67	-1,24	-0,74	0,00	-0,64	-0,46	
	-0,40	-1,12	-1,17	-1,32	0,67	0,64	-0,99	-0,12	0,37	-0,46	
	-0,44	-0,89	0,08	-0,64	0,67	-1,24	0,27	-0,17	-0,44	-0,60	
	-0,34	-0,96	-0,34	-0,74	2,44	0,64	0,69	-0,07	-0,04	-0,36	
-0,41	-0,87	-1,16	0,97	2,44	-1,24	1,44	-0,01	0,37	-0,60		
-0,40	-1,02	-1,26	0,93	0,67	-1,24	1,87	0,00	-0,24	-0,46		
Noturno	-0,21	-0,60	2,02	-0,86	0,67	-1,24	-0,50	-0,71	-0,64	-0,55	
	-0,32	-0,96	-1,09	-1,36	0,67	0,64	-0,03	-0,72	-0,04	-0,50	
	-0,51	-0,48	-0,36	1,09	2,44	-1,24	0,11	-0,70	-0,44	-0,69	
	-0,33	-0,81	-1,03	-1,32	2,44	0,64	0,18	-0,72	-0,04	-0,50	
	-0,25	-0,53	-0,61	-1,36	0,67	0,64	-0,84	-0,72	-0,04	-0,69	
	-0,37	-0,61	0,49	-1,23	0,67	0,64	-1,46	-0,71	0,16	-0,41	
	-0,54	-0,24	-1,03	0,32	0,67	-1,24	-0,23	-0,72	-0,24	-0,65	
	-0,34	-0,92	-1,32	-1,06	0,67	0,64	-0,67	-0,70	0,37	-0,55	
	-0,36	-0,91	-0,48	-0,94	2,44	-1,24	0,28	-0,72	-0,44	-0,69	
	-0,38	-0,96	0,58	-0,86	0,67	-1,24	-0,10	-0,72	-0,24	-0,55	
-0,45	-0,59	-0,80	-0,88	0,67	-1,24	-0,01	-0,71	-1,25	-0,60		
-0,38	-0,88	-1,10	-0,92	0,67	-1,24	0,50	-0,70	-0,24	-0,65		

Continua (...)

(...) continuação.

		-0,94	0,35	0,58	1,18	0,67	0,64	2,30	0,22	0,37	-0,69
		-0,99	-0,11	-0,39	2,15	0,67	-1,17	-0,21	0,30	-0,04	-0,69
		-1,04	0,66	0,54	0,20	-0,65	0,64	-0,51	0,29	0,57	-0,60
		-0,97	0,23	-0,16	0,42	-0,65	-0,73	1,48	0,28	-0,24	-0,60
		-0,97	0,59	0,44	-0,26	0,67	1,02	-0,19	0,23	1,17	-0,50
	Diurno	-0,95	0,65	1,12	-0,68	3,33	0,64	0,12	0,42	0,16	-0,65
		-0,85	-0,33	-0,51	-0,35	0,67	0,64	-0,19	0,43	1,78	-0,69
		-1,00	0,94	0,71	-0,45	-0,65	0,64	0,12	0,31	1,78	-0,27
		-0,91	-0,09	-0,09	0,31	-0,65	0,64	-0,17	0,32	1,17	-0,60
		-0,91	0,09	0,58	-1,05	-0,65	0,64	0,07	0,34	1,38	-0,69
		-0,95	0,62	0,73	0,42	0,67	0,64	-0,81	0,40	1,58	-0,60
Harvester A		-0,97	0,37	0,20	0,63	0,67	-1,05	-0,77	0,35	-0,24	-0,46
6x6		-0,85	-0,35	-0,62	-1,78	-0,65	0,64	-1,24	-0,71	-0,04	-0,65
		-0,93	-0,38	-0,67	-0,75	0,67	-0,98	-0,01	-0,72	0,97	-0,60
		-0,83	-0,26	-0,54	-0,66	-0,65	0,64	-1,40	-0,72	1,38	-0,74
		-0,93	-0,82	-1,18	-0,57	-0,65	0,64	-1,49	-0,73	0,97	-0,41
		-1,11	-0,64	-0,96	0,78	0,67	0,64	-0,83	-0,72	0,77	-0,65
	Noturno	-0,97	0,21	-0,67	0,30	0,67	0,64	-0,93	-0,71	1,17	-0,60
		-0,86	-0,28	-0,56	-1,50	-0,65	0,89	-0,72	-0,71	2,99	-0,55
		-0,97	-0,43	-0,56	0,37	-0,65	1,02	-1,10	-0,71	2,39	-0,41
		-0,88	-0,58	-0,43	-1,78	-0,65	0,89	-0,19	-0,72	2,19	-0,60
		-0,97	-0,36	-0,68	-0,73	0,67	1,14	-0,25	-0,73	-0,64	-0,60
		-0,96	-0,23	-0,35	-0,57	0,67	0,64	-0,19	-0,72	-0,04	-0,46
		-0,90	0,17	-0,76	-0,91	-0,65	0,64	1,01	-0,72	-0,85	-0,65
		-0,81	-0,44	-0,41	-0,62	-0,65	-0,80	1,37	0,37	-0,64	-0,50
		-0,78	-1,04	-1,16	-1,12	-0,65	-0,92	1,03	0,38	-0,24	-0,55
		-0,91	-0,50	-0,52	-0,94	-0,65	-1,05	1,68	0,41	-0,64	-0,65
		-0,76	-0,73	-1,03	0,31	-0,65	-1,11	0,68	0,38	-0,64	-0,69
		-0,63	-0,94	-1,17	-0,01	-0,65	-0,67	1,08	0,45	-0,64	-0,41
	Diurno	-0,71	-0,44	-0,19	0,22	-0,65	-0,86	0,31	0,36	-0,04	-0,60
		-0,74	-1,02	-1,13	-0,86	-0,65	-0,61	-0,16	0,24	-0,04	-0,55
		-0,72	-1,04	-0,85	0,38	0,67	-0,30	-0,78	-0,09	1,17	-0,55
		-0,75	-0,78	-1,07	-1,78	-0,65	0,89	-0,72	0,21	0,57	-0,69
		-0,72	-0,50	-0,52	-1,28	-0,65	-0,36	-0,96	0,30	-0,44	-0,50
		-0,71	-0,55	-0,35	-1,32	0,67	1,02	1,59	0,36	0,77	-0,65
Harvester B		-0,75	-0,50	-0,27	-1,36	-0,65	0,89	-0,69	0,53	0,97	-0,65
8x8		-0,78	-1,05	-1,38	-1,78	-0,65	1,08	-0,43	-0,72	-0,85	-0,27
		-0,63	-0,87	-0,93	-0,75	0,67	-1,05	0,02	-0,71	-0,24	-0,60
		-0,53	-0,80	-0,91	-0,66	-0,65	-0,36	-0,35	-0,73	-0,44	-0,60
		-0,58	-1,07	-1,43	-0,57	-0,65	-1,05	-0,02	-0,73	-0,44	-0,65
		-0,57	-0,91	0,27	0,78	-0,65	0,64	0,01	-0,72	-0,64	-0,36
	Noturno	-0,59	-0,84	-0,94	0,30	-0,65	-1,05	1,18	-0,72	-0,04	-0,69
		-0,68	-1,06	-0,55	-1,50	-0,65	-0,23	0,08	-0,73	-0,24	-0,65
		-0,62	-1,20	-1,52	0,37	-0,65	0,64	0,24	-0,72	-0,04	-0,46
		-0,71	-1,28	-1,41	-1,78	-0,65	-0,61	-0,33	-0,72	-0,24	-0,50
		-0,66	-1,20	-1,51	-0,73	0,67	-1,11	-0,11	-0,72	-0,64	-0,55
		-0,75	-1,14	-1,19	-0,57	-0,65	-0,86	-0,87	-0,72	-0,64	-0,50
		-0,75	-1,10	-1,39	-0,91	-0,65	-0,48	-1,06	-0,73	-0,44	-0,41
		-0,62	-0,18	0,03	0,69	1,56	-1,24	-0,23	2,05	-0,85	0,74
		-0,26	-0,11	0,24	0,82	0,67	0,64	-0,02	2,05	-1,25	0,50
		-0,63	-0,30	-0,35	-1,78	-0,65	-1,24	1,71	2,05	-1,45	0,64
		-0,69	0,21	0,26	0,74	0,67	0,64	2,37	2,05	-1,65	0,16
		-0,15	0,29	0,40	0,47	-0,65	-1,24	0,67	2,05	-1,05	0,50
	Diurno	-0,35	0,20	0,71	0,54	-1,98	0,64	-0,18	2,05	2,99	1,02
		-0,43	0,40	0,59	0,34	-1,98	0,64	0,05	2,05	0,16	0,88
		-0,42	0,93	1,34	0,34	-1,98	-1,24	0,38	2,05	1,58	0,26
		-0,48	-0,31	-0,50	-0,33	-0,65	0,64	1,23	2,05	0,37	0,55
		-0,43	0,65	0,97	-0,33	-0,65	0,64	2,64	2,05	0,77	0,07
		-0,32	0,45	0,73	-0,25	-0,65	-1,24	2,81	2,05	0,97	0,16
		-0,28	0,39	0,63	-1,36	-1,98	0,64	0,78	2,05	1,38	0,26
Forwarder		-0,58	0,72	1,29	-0,70	3,33	0,64	-1,75	-0,74	0,37	0,35
		-0,43	0,17	0,55	0,39	-0,65	-1,24	-1,81	-0,73	-0,85	0,31
		-0,41	-0,27	0,19	-0,15	0,67	0,64	-1,95	-0,73	-0,04	0,59
		-0,40	-0,20	0,23	-0,92	-0,65	0,64	-1,85	-0,73	-1,05	0,83
		-0,51	0,11	0,60	0,19	-0,65	0,64	-0,07	-0,74	0,77	0,31
	Noturno	-0,42	0,05	0,94	0,78	-1,98	-1,24	-0,87	-0,73	0,16	0,55
		-0,33	-0,53	-0,95	-0,38	0,67	-1,24	-1,06	-0,73	-0,24	0,55
		-0,53	-0,23	0,18	-0,42	-0,65	0,64	-0,88	-0,73	-0,04	0,50
		-0,62	-0,10	0,20	0,47	-1,10	-1,24	-0,94	-0,73	0,57	0,45
		-0,37	-0,23	0,03	0,44	3,33	0,64	-0,54	-0,74	-0,04	0,40
		-0,54	0,13	1,07	1,29	-0,65	0,64	-0,51	-0,74	-0,64	0,35
		-0,42	0,57	0,82	0,74	0,67	0,64	-0,70	-0,73	-0,24	0,45