

RODRIGO PETRONGARI TONIN

**RUÍDO E VIBRAÇÃO EM MÁQUINAS NO SISTEMA DE COLHEITA DE ÁRVORES
INTEIRAS**

Botucatu

2019

RODRIGO PETRONGARI TONIN

**RUÍDO E VIBRAÇÃO EM MÁQUINAS NO SISTEMA DE COLHEITA DE ÁRVORES
INTEIRAS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Ciência Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Torres Fenner

Botucatu

2019

T665r Tonin, Rodrigo Petrongari
 Ruído e vibração em máquinas no sistema de colheita
de árvores inteiras / Rodrigo Petrongari Tonin. --
Botucatu, 2019
 74 p. : il., tabs., fotos, mapas

 Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu
 Orientador: Paulo Torres Fenner

 1. colheita de madeira. 2. ergonomia. 3. ruído. 4.
vibração. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu




CERTIFICADO DE APROVAÇÃO


TÍTULO: "RUIDO E VIBRAÇÃO EM MÁQUINAS NO SISTEMA DE COLHEITA DE ÁRVORE INTEIRAS"

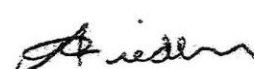
AUTOR: RODRIGO PETRONGARI TONIN


ORIENTADOR: PAULO TORRES FENNER


Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em CIÊNCIA FLORESTAL, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. PAULO TORRES FENNER
Ciência Florestal / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu


Prof. Dr. EDUARDO DA SILVA LOPES
Ciência Florestal / Universidade Estadual do Centro-Oeste


Prof. Dr. NILTON CÉSAR FIEDLER
Engenharia Florestal / Universidade Federal do Espírito Santo


Dr.ª MILENA ROSA LOPES LOZANO
Botucatu/SP / .


Prof. Dr. SÉRGIO AUGUSTO RODRIGUES
Bioprocessos e Biotecnologia / Faculdade de Ciências Agrônomicas de Botucatu - UNESP

Botucatu, 31 de maio de 2019

À Deus, a meus pais, Olidio e Elisabete, minha irmã Juliana e a minha namorada Estela que me incentivaram e apoiaram na realização deste trabalho.

Dedico e Ofereço

AGRADECIMENTOS

À Deus.

Aos meus queridos pais pelo apoio incondicional.

À minha irmã, que mesmo de longe, sempre me mandava forças.

À minha namorada pelo apoio, paciência e ajuda sempre que precisei.

À Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, por intermédio do programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, pela formação científica.

Ao Prof. Dr. Paulo Torres Fenner, orientador, amigo e exemplo de conduta, pelo acolhimento, dedicação, paciência durante o desenvolvimento deste trabalho. Obrigado pela confiança!

Ao professor Dr. Sergio Augusto Rodrigues pela amizade, ajuda, contribuições valiosas para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colaboradores da empresa onde foi realizado o estudo, em especial ao Gilberto Pereira, por viabilizar a realização do estudo.

De maneira especial aos amigos Ricardo Hideaki Miyajima e Humberto de Jesus Eufrede Jr., pelo auxílio durante o árduo trabalho de campo.

Aos amigos Fabio Artuza e Carolina de Fátima Machado Artuza pela presteza, companheirismo e por compartilhar bons e maus momentos.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) Código de Financiamento 001.

Obrigado.

“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez”.

(George Bernard Shaw)

RESUMO

Com o crescimento da economia brasileira a partir da década de 90, o setor florestal brasileiro passou por várias mudanças como a implantação de máquinas modernas em todo processo produtivo, o que permite melhor aproveitamento do tempo e gera maior segurança durante as atividades de colheita florestal. Porém, durante o funcionamento dessas máquinas vibrações mecânicas e acústicas são geradas e transmitidas. Quando estas ocorrem em níveis indesejados e por longos períodos de exposição, superiores ao suportável, podem causar problemas de saúde aos trabalhadores expostos. O objetivo deste estudo é verificar os níveis de ruído e vibração de três máquinas de colheita florestal (Feller Buncher, Skidder e Garra Traçadora) quanto a três situações de funcionamento das mesmas: em baixa rotação com a máquina estática, em rotação de trabalho com a máquina estática e com a máquina em operação, verificando a evolução das variáveis ergonômicas nas diferentes situações estudadas. Além disso, pretende-se comparar os resultados obtidos com as normas vigentes. Para a coleta de dados de ruído e vibração, foram utilizados um decibelímetro e um acelerômetro respectivamente, obtendo 900 leituras para cada situação de funcionamento, tanto para ruído quanto para vibração. Como resultados tem-se o nível de ruído e vibração aumentando juntamente com o incremento da rotação do motor nas três máquinas. Quando as máquinas estão em operação o Feller Buncher emite um ruído de 72,6 dB(A), o skidder 80,7 dB(A) e a garra traçadora 73 dB(A), portanto todas as máquinas estudadas emitem ruídos inferiores ao recomendado pela norma, permitindo assim uma jornada diária de 8 horas. E também pode-se concluir que o skidder é a máquina mais ruidosa do sistema estudado. Já avaliando o nível de vibração com as máquinas em operação, o Feller Buncher gera uma vibração de $1,1 \text{ m s}^{-2}$, o Skidder $2,0 \text{ m s}^{-2}$ e a garra traçadora $1,0 \text{ m s}^{-2}$, sendo que as três máquinas em operação necessitam de ações imediatas, em relação a vibração gerada, para que os operadores tenham um ambiente “confortável” e seguro de trabalho. Sendo que das três máquinas avaliadas o Skidder foi a que mais gerou vibração.

Palavras Chave: colheita de madeira, ergonomia, ruído, vibração.

ABSTRACT

With the growth of the Brazilian economy since the 1990s, the Brazilian forestry sector underwent several changes, such as the introduction of modern machines in a productive process, allowing better use of time, generating safety during harvesting activities. However, during the working, mechanical and acoustic vibrations are generated and transmitted. When these occur at undesirable levels and for long periods of exposures, upper than the bearable, can cause health problems exposed workers. The objective of this study is to compare noise levels and vibration of three forest harvesting machines (Feller Buncher, Skidder and Garra Traçadora) in three operating situations: in low rotation with the static machine, in work rotation with the static machine and with the machine in operation, verifying the evolution of the ergonomic variables in the different situations studied. In addition, we intend to compare the results obtained with the norms in force. For the collection of noise and vibration data, used a decibelimeter and an accelerometer respectively, obtaining 900 readings for each operating situation, for both noise and vibration. As results, the noise and vibration levels are increasing along with the increase of motor rotation in the three machines. When the machines are in operation the Feller Buncher emits a noise of 72.6 dB (A), the Skidder 80.7 dB (A) and Garra Traçadora 73 dB (A), so all the studied machines issued noises down the recommended ones by the norm, thus allowing a daily workload of 8 hours. And it can also be concluded that the skidder is the system's noisiest machine studied. Already evaluating the level of vibration with the machines in operation, Feller Buncher generates a vibration of 1.1 m s^{-2} , the Skidder 2.0 m s^{-2} and Garra Traçadora 1.0 m s^{-2} , the three machines in operation require decision-making immediate action, in the vibration generated, so that the operators have a "comfortable" environment and work insurance. The Skidder was the machine evaluated that more generated vibration.

Keywords: wood harvesting, ergonomics, noise, vibration.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Limite de tolerância para ruídos contínuos ou intermitentes.....	37
Tabela 2 - Aceleração como indicação das reações com relação ao conforto.....	43
Tabela 3 - Critério de julgamento e tomada de decisão.....	44
Tabela 4 - Características das máquinas utilizadas.....	47
Tabela 5 - Descrição dos tratamentos.....	48
Tabela 6 - Numero de leituras em cada repetição dos três tratamentos.....	48
Tabela 7 - Comparação dos níveis de ruído.....	51
Tabela 8 - Confrontamento do nível de ruído com a NR-15.....	51
Tabela 9 - Comparação dos níveis de vibração.....	53
Tabela 10 - Confrontamento do nível de vibração com a norma ISO2631 e NHO09.....	53
Tabela 11 - Médias (desvio padrão entre parênteses) do nível de ruído (dB(A)) no Feller Buncher em função dos tratamentos.....	54
Tabela 12 - Médias (desvio padrão entre parênteses) do nível de ruído (dB(A)) no Skidder em função dos tratamentos.....	56
Tabela 13 - Médias (desvio padrão entre parênteses) do nível de ruído (dB(A)) da Garra Traçadora em função dos tratamentos.....	58
Tabela 14 - Médias (desvio padrão entre parênteses) da vibração ($m s^{-2}$) no Feller Buncher em função dos tratamentos.....	60
Tabela 15 - Médias (desvio padrão entre parênteses) da vibração ($m s^{-2}$) no Skidder em função dos tratamentos.....	62
Tabela 16 - Médias (desvio padrão entre parênteses) da vibração ($m s^{-2}$) na Garra Traçadora em função dos tratamentos.....	64

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ergonomia com tecnologia de interfaces.....	33
Figura 2 – Tipos de ruído.....	36
Figura 3 – Ciclos de vibrações ao longo do tempo.....	41
Figura 4 – Localização do município onde foi realizado o experimento.....	45
Figura 5 – Talhão de coleta dos dados.....	46
Figura 6 – Medidor de pressão sonora DEC-416.....	49
Figura 7 – Medição do ruído no Feller Buncher, Skidder e Garra Traçadora, respectivamente.....	50
Figura 8 – Medidor de vibração digital da marca Instrutherm modelo MV-690.....	51
Figura 9 – Detalhe do acelerômetro instalado no Feller Buncher e na Garra Traçadora.....	52
Figura 10 – Detalhe do acelerômetro instalado no Skidder.....	52
Figura 11 – Níveis de ruído do Feller Buncher nos tratamentos.....	55
Figura 12 – Boxplot dos níveis de ruído do Feller Buncher nos tratamentos.....	55
Figura 13 – Níveis de ruído do Skidder nos tratamentos.....	57
Figura 14 – Boxplot dos níveis de ruído do Skidder nos tratamentos.....	57
Figura 15 – Níveis de ruído da Garra Traçadora nos tratamentos.....	59
Figura 16 – Boxplot dos níveis de ruído da Garra Traçadora nos tratamentos.....	59
Figura 17 – Níveis de vibração do Feller Buncher nos tratamentos.....	61
Figura 18 – Boxplot dos níveis de vibração do Feller Buncher nos tratamentos.....	61
Figura 19 - Níveis de vibração do Skidder nos tratamentos.....	63
Figura 20 – Boxplot dos níveis de vibração do Skidder nos tratamentos.....	63
Figura 21 – Níveis de vibração da Garra Traçadora nos tratamentos.....	65
Figura 22 – Boxplot dos níveis de vibração da Garra Traçadora nos tratamentos.....	65

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	21
2	OBJETIVOS.....	23
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	24
3.1.	Setor florestal mundial.....	24
3.2.	Setor florestal brasileiro.....	24
3.3.	Colheita de madeira.....	25
3.4.	Mecanização da colheita florestal.....	26
3.5.	Sistemas mecanizados de colheita de madeira.....	28
3.6.	Sistema de árvores inteiras (full tree)	28
3.7.	Máquinas analisadas.....	29
3.7.1.	Feller Buncher.....	29
3.7.2.	Skidder.....	30
3.7.3.	Garra Traçadora.....	31
3.8.	Ergonomia.....	31
3.9.	Ruído.....	34
3.10.	Vibração.....	40
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	45
4.1.	Caracterização da área de estudo.....	45
4.2.	Descrição das máquinas.....	46
4.2.1.	Feller Buncher.....	46
4.2.2.	Skidder.....	46
4.2.3.	Garra Traçadora.....	47
4.3.	Coleta de dados.....	47
4.3.1.	Ruído.....	48
4.3.2.	Vibração.....	51
4.4.	Análise estatística.....	53
5	RESULTADOS.....	54
5.1.	Ruído.....	54
5.1.1.	Feller Buncher.....	54
5.1.2.	Skidder.....	56
5.1.3.	Garra Traçadora.....	58
5.2.	Vibração.....	60
5.2.1.	Feller Buncher.....	60
5.2.2.	Skidder.....	62
5.2.3.	Garra Traçadora.....	64
6	CONCLUSÕES.....	67
	REFERÊNCIAS.....	69

1 INTRODUÇÃO

O emprego de máquinas no setor florestal permitiu melhor rendimento nas operações, principalmente na colheita de madeira, pois proporciona maior rendimento e menor custo.

A mecanização maximiza o aproveitamento do tempo, além da maior segurança proporcionada ao trabalhador, podem diminuir a insalubridade de muitas atividades.

A colheita de madeira mecanizada dispõe de diversos tipos de máquinas, que são escolhidos pelas empresas do setor de acordo com suas necessidades de recebimento da matéria prima.

Porém, durante a operação das máquinas são geradas vibrações mecânicas e acústicas que são transmitidas por toda a sua estrutura e para o ambiente que a rodeia. Quando estas ocorrem em níveis indesejados e por longos períodos, superiores ao suportável, podem causar problemas de saúde aos trabalhadores expostos.

O ruído juntamente com a vibração são dois grandes problemas que afetam os operadores de máquinas.

Ruído é qualquer sensação sonora considerada indesejável. Segundo Tosin (2009), ruído é agente físico insalubre presente em mais de 90% das atividades laborais existentes. Na operação de um trator é o principal risco ao qual o operador está exposto.

As vibrações podem ser definidas como movimentos oscilatórios do corpo sobre o ponto de equilíbrio. Diferentemente do ruído, ninguém fica exposto à vibração de maneira passiva, no caso da vibração o contato faz parte do processo.

Algumas empresas, preocupadas com a problemática ergonômica, veem implantando programas de qualidade, surgindo assim a necessidade de avaliação dos postos de trabalho nos diversos ramos de atividades na área florestal.

A ergonomia vem contribuindo de forma consistente para o binômio “homem máquina”, apontando melhorias de projeto, intervindo na organização do trabalho e em melhorias das suas condições, privilegiando o homem quanto a sua saúde física e mental, seu bem-estar e sua segurança, sem que para isso a questão da produtividade seja considerada em segundo plano.

Disso decorre a importância dos estudos que vem sendo realizados sobre os aspectos ergonômicos das máquinas de colheita de madeira a fim de melhorar as condições de trabalho dos operadores.

Os trabalhadores estão sujeitos a constrangimentos diversos durante o desenvolvimento de suas atividades que podem conduzi-los, principalmente: a erros de operação, comprometendo seu desempenho, sua segurança.

2 OBJETIVOS

O objetivo geral deste estudo foi quantificar os níveis de ruído e vibração em máquinas de colheita de madeira em diferentes situações de trabalho: baixa rotação do motor com a máquina estática, motor com rotação de trabalho com a máquina estática e máquina em operação.

Os objetivos específicos foram:

- Determinar as variáveis ergonômicas estudadas nas diferentes situações de funcionamento;
- Comparar se os níveis de ruído obtidos nas máquinas em operação com as normas vigentes;
- Avaliar o efeito, nas máquinas em operação, causados pela vibração ocupacional e a necessidade de realização de ação corretiva nas máquinas.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Setor florestal mundial

No mundo inteiro, o setor florestal tem importância como fornecedor de energia ou matéria-prima para a indústria da construção civil e de transformação.

A atividade florestal ocupa lugar de destaque em muitos países, prova disso é o crescente comércio de produtos florestais entre os diversos países. Em 2013, a área com árvores plantadas no mundo era de 264 milhões de hectares representando 7% de todas as florestas globais e 22% das florestas destinadas à exploração comercial.

A maior parte da área de plantios de árvores (61%) localiza-se na China, Índia e Estados Unidos. No Brasil, existem 7,6 milhões de hectares de árvores plantadas para fins industriais (IBÁ, 2018).

Para atender a necessidade de madeira, que tende a crescer junto com o crescimento da população, em um futuro próximo serão necessários 250 milhões de hectares adicionais de florestas plantadas no mundo (IBÁ, 2018).

3.2. Setor florestal brasileiro

No final da década de 1960, o setor florestal era pouco expressivo para a economia brasileira, além de se constatar que neste período ocorria a exploração predatória dos recursos florestais de forma indiscriminada. No entanto, o surgimento dos incentivos fiscais, associados aos investimentos privados, proporcionou ao setor florestal um crescimento rápido e significativo (MACHADO et al., 2014).

O setor florestal brasileiro é conceituado como uma composição de florestas nativas e plantadas, públicas e privadas, é diversificado nas questões de tecnologia, recursos humanos, produtividade e outros aspectos. (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2012). É uma referência mundial, por características, como, sustentabilidade, competitividade e inovação. Os principais destinos da madeira produzida são para produção de celulose, papel, painéis de madeira, pisos laminados, carvão vegetal e biomassa (IBÁ, 2018).

O setor florestal pode ser conceituado como parte da sociedade relacionada ao uso dos recursos silvestres ou florestal. Ele se relaciona especialmente ao uso dos

recursos da flora, em particular, das florestas naturais ou plantadas (CARVALHO et al., 2005).

Com uma área de 7,84 milhões de hectares de reflorestamento, o setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais e 6,2% do PIB Industrial no País e, também, é um dos que segmentos com maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde (IBÁ, 2018)

No setor do agronegócio brasileiro a atividade florestal, apesar de ter apresentado leve decréscimo nos últimos anos, ainda detém um lugar de destaque. Em 2018 o setor brasileiro de árvores plantadas empregou diretamente em torno de 630 mil pessoas e representou no Produto Interno Bruto (PIB) 1,2% de toda a riqueza gerada no País (IBÁ, 2018), já no ano de 2016, o setor apresentou uma ligeira queda, empregando cerca de 510 mil pessoas, participando do PIB nacional com 1,1% (IBÁ, 2018).

Estes indicativos acabam justificando os altos investimentos que o setor tem recebido, principalmente em recursos tecnológicos. Com a abertura do mercado de importações e incentivos do governo federal, as indústrias do setor florestal, com destaque para o segmento de celulose e papel, aumentaram seu contingente de máquinas próprias principalmente para a colheita de pinus e eucalipto.

Nas últimas décadas, o setor florestal brasileiro despontou rapidamente como um dos mais avançados em tecnologia florestal de espécies de rápido crescimento.

Graças aos avanços tecnológicos em melhoramento genético, manejo, mecanização da colheita e transporte florestal, houve ganhos de produtividade e de desempenho dos processos operacionais de reflorestamento, colheita e transporte (YONEZAWA, 2010).

Diversas empresas do setor florestal brasileiro utilizam o que existe de mais moderno nas suas etapas de produção, principalmente no caso de florestas plantadas, desde a obtenção de mudas até a entrega da madeira nos pátios das indústrias (SILVA et al., 2010)

3.3. Colheita de madeira

A colheita florestal é um conjunto de operações que visa cortar, extrair e processar as árvores do local de derrubada até as margens das estradas ou pátios

intermediários. Devido a diversos fatores que podem afetar a produtividade, e os custos operacionais e de produção conseqüentemente, é necessário um planejamento detalhado das operações, buscando antecipar os problemas, minimizando os custos envolvidos nas operações de colheita florestal (MACHADO, 2014).

Para Arce et al. (2004), a colheita, representa a operação final de um ciclo de produção florestal, na qual são obtidos os produtos mais valiosos, constituindo um dos fatores que determinam a rentabilidade florestal.

Basicamente, as atividades da colheita podem ser divididas em três fases: corte (incluindo a derrubada, o desgalhamento e o processamento), extração (que corresponde à colocação da madeira em um local de fácil acesso) e transporte para o local de utilização.

O corte é a primeira etapa da colheita florestal e tem grande influência na realização das operações subseqüentes. Ele compreende as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento e empilhamento e é uma operação de grande importância por ser a etapa inicial do preparo da madeira (SANT'ANNA, 2014).

Subseqüentemente, ocorre a extração, é realizada pelo Skidder, Forwarder, trator auto carregável, trator agrícola com guincho arrastador, extração com cabos aéreos, entre outros. Em virtude do custo elevado de aquisição dos Forwarders, foram feitas adaptações de máquinas agrícolas, sendo que o trator auto carregável é composto por trator agrícola com carreta e grua acoplados, sendo indicado para extração em florestas com inclinações laterais em torno de no máximo 10%.

3.4. Mecanização da colheita florestal

No início das atividades florestais no Brasil, havia uma escassez na utilização de máquinas no setor da colheita de madeira, estendendo-se até a década de 40. Após esta década, a área florestal ficou dependente do uso de equipamentos e máquinas adaptadas da área agrícola e industrial para a realização das suas atividades. Como consequência, este período foi marcado pela intensa utilização de sistemas manuais e semimecanizados devido à falta de alternativas, além de empregar grande parcela de trabalhadores, este tipo de atividade gerava operações onerosas e com alto risco de acidentes (MACHADO et al.,2014).

Com o aumento da área de florestas plantadas no Brasil, sobretudo depois do advento dos incentivos fiscais, notou-se a necessidade de buscar sistemas de colheita que proporcionassem um rendimento maior, menor custo e melhor aproveitamento, nos quais as operações fossem mais bem adaptadas ao trabalhador.

Uma determinada atividade no setor florestal é caracterizada como mecanizada quando realizada com máquinas motoras, através de mecanismos que possuam movimentos relativos ao acionamento direto e/ou quando utilizam equipamentos e ferramentas adaptados a uma determinada máquina. A mecanização florestal está presente nas seguintes atividades: o preparo inicial do solo, o preparo periódico do solo, manutenções/tratamentos silviculturais e colheita, além do transporte (LIMA e LEITE, 2014).

Em países de maior tradição no setor florestal o problema da mecanização já é tema de estudos há muito tempo e ainda hoje são necessários novos estudos a respeito do tema. Salmeron (1980) já citava a dificuldade de encontrar mão de obra e ampliar a capacidade produtiva das empresas forçou o desenvolvimento de novos equipamentos, projetados especialmente para o trabalho no setor florestal, assim, em pouco tempo a necessidade de mecanizar ao máximo as operações de campo tornou-se imprescindível.

Porém, o início da década de 90 foi marcado pela liberação do mercado brasileiro às importações de máquinas de outros países, contribuindo com os maiores avanços tecnológicos da área. Com o crescimento da economia brasileira, o setor florestal brasileiro sofreu várias mudanças como a implementação de modernas máquinas e equipamentos para adaptação ao mundo globalizado (FREITAS, 2005).

A mecanização florestal, na maioria das vezes, utiliza máquinas adaptadas ou importadas. O custo elevado dessas máquinas exige o máximo de aproveitamento de todas as suas funções durante a execução contínua das tarefas a elas atribuídas, bem como demanda estudos no sentido de adequá-las às condições de trabalho no Brasil (FONTANA e SEIXAS, 2007).

As máquinas florestais, em geral, têm sido avaliadas sob diversos aspectos, em diversas partes do mundo, com objetivos variados, como produtividade, necessidade de manutenção mecânica e eletrônica, entre outros (SILVA et al., 2007).

Em razão dessas necessidades, a mecanização das atividades de colheita passou a ser mais estudada, embora não tenha conseguido eliminar todos os

problemas ocupacionais que acometem os trabalhadores florestais. Outros riscos, como ruído, luminosidade e calor, continuaram a fazer parte do seu dia-a-dia.

Quando o sistema homem-máquina é ineficaz o operador pode ser exposto a elevada carga de trabalho, física e/ou mental, ocasionando perda na produtividade e na qualidade do trabalho, aumentando a ocorrência de acidentes e o desenvolvimento de doenças ocupacionais (RINALDI et. al, 2008).

Inserida em um contexto global que afeta sobremaneira a rentabilidade das empresas, a mecanização da atividade de colheita florestal passa por momentos de grandes inovações e avanços tecnológicos.

3.5. Sistemas mecanizados de colheita de madeira

Stöhr (1981), define sistema de colheita de madeira como sendo um conjunto constituído de elementos e processos, entretanto Malinovski et al. (2002) dizem que envolve o método e o ordenamento das atividades a serem desenvolvidas.

O sistema de colheita de madeira é definido como um conjunto de elementos e processos que envolvem a cadeia de produção e todas as atividades parciais, desde a derrubada da árvore até a madeira posto no pátio da indústria (MALINOVSKI et al., 2008).

Já Machado (2014) define sistema de colheita de madeira como um conjunto de atividades integradas entre si que permitem o fluxo constante de madeira, evitando-se os pontos de estrangulamento, levando os equipamentos a sua máxima utilização.

De acordo com a classificação da *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO, 1978) e Malinovski e Malinovski (1998), os sistemas de colheita podem ser classificados quanto à forma ou comprimento da madeira na fase de extração.

Existem basicamente quatro sistemas de colheita: sistemas de toras curtas (cut-to-length), sistema de toras longas (tree-length), sistema de árvores inteiras (full-tree), sistema de árvores completas (whole-tree).

3.6. Sistema de árvores inteiras (full tree)

A utilização desse sistema implica na remoção da árvore inteiras, somente sem o sistema radicular, para a margem do talhão, como operação subsequente ao corte,

sendo o processamento completo da árvore realizado em local previamente escolhido, geralmente bordadura do talhão. Esse sistema implica elevado índice de mecanização e pode ser utilizado tanto nos terrenos planos como nos acidentados (WALDRIGUES, 1983).

No caso de uma futura utilização de biomassa para energia ou processo, o sistema poderá ser muito utilizado, pois, devido à concentração da biomassa residual da colheita da madeira em local delimitado, elimina o trabalho do amontoamento, que seria necessário fazer em toda área no sistema de toras curtas e, parcialmente, no sistema de toras longas, onde o processamento das árvores é realizado no interior do talhão, deixando os resíduos espalhados por toda área (MALINOVSKI e MALINOSVKI, 1998).

Nesse sistema comumente as máquinas utilizadas são: Feller Buncher, Skidder e Garra Traçadora.

3.7. Máquinas analisadas

3.7.1. Feller Buncher

Segundo Malinovski e Malinovski (1998) o Feller Buncher é um trator florestal derrubador acumulador, com um implemento frontal, cabeçote, que realiza o corte, acumula árvores cortadas e em seguida as deposita sobre o terreno, em forma de feixes, para facilitar a operação posterior, que pode ser desgalhamento, traçamento ou arraste. No cabeçote o corte pode ser realizado através de três diferentes tipos: sabre, tesoura e disco. Sendo o de disco amplamente utilizado.

Machado (2002), define o Feller Buncher como um trator com rodados de pneus ou de esteira equipado com um cabeçote que realiza o corte e empilhamento das árvores.

O surgimento do Feller Buncher no Brasil é descrito no fim da década de 70. Baseado em modelos de máquinas americanas, a empresa Olinkraft desenvolveu um equipamento de corte acionado por uma bomba hidráulica que, ligada ao motor de uma máquina base, acionava duas laminas em forma de tesoura, efetuando o corte da árvore (SANT'ANNA, 2014).

O procedimento realizado pelo Feller Buncher consiste em fixar a árvore por duas garras na altura aproximada ao DAP (diâmetro a altura do peito), em seguida realiza a etapa de corte o mais próximo possível do solo. Após o corte, é acionado o

braço acumulador, firmando uma árvore no cabeçote, reabrindo as garras e acionando a máquina de corte para nova operação, até atingir a capacidade de carga do cabeçote (MACHADO e LOPES, 2002).

O Feller Buncher é o trator florestal que corta, acumula e tomba um feixe de árvores acumuladas no cabeçote. É uma peça de construção rígida onde está localizado o órgão ativo de corte, composto por um disco dentado, ou uma tesoura de dupla ação, ou um sabre, e os braços acumuladores, todos acionados por um sistema hidráulico (LIMA e LEITE, 2014).

3.7.2. Skidder

Esta máquina surgiu na década de 1960, sendo um veículo versátil, forte, fácil de operar e econômico. Sua robustez, facilidade de manutenção, eficiência e flexibilidade quanto ao tamanho das árvores são alguns dos fatores que justificam sua ampla utilização. Quanto ao tipo de rodado, podem ser de esteira ou de pneus, e podem ser com cabo, com garra ou com pinças invertidas (SEIXAS e CASTRO, 2014).

Segundo Souza et al. (2000), os Skidders são máquinas florestais arrastadores e articulados que tem como função realizar o arraste das árvores da área de corte (interior do talhão) até a margem da estrada ou pátio intermediário, o sistema de rodagem pode ser de pneus, semiesteiras ou esteiras.

O Skidder é um trator florestal arrastador, articulado com diferentes possibilidades de tração: 4x4, 6x6 e com os pneus nas mesmas dimensões, desenvolvido para o arraste ou extração da madeira. É uma máquina projetada para trabalhar nos sistemas de árvores inteiras e/ou toras longas, com a finalidade do arraste dos feixes de árvores ou fustes do local de corte até a margem da estrada ou pátio intermediário (LIMA e LEITE, 2014).

A capacidade de carga de um Skidder vai depender da resistência ao rolamento, coeficiente de tração e atrito onde a carga se apoia no solo durante a extração. Todas essas variáveis são influenciadas com as mudanças que ocorrem no teor de água do solo e sua textura (SEIXAS e CASTRO, 2014).

O desempenho operacional do Skidder é afetado pela distância de arraste, ou seja, a medida em que se aumenta a distância de arraste para um mesmo volume de madeira, diminui-se o seu rendimento (LIMA e LEITE, 2014).

3.7.3. Garra Traçadora

A Garra Traçadora é uma máquina adaptada de uma retroescavadora, normalmente com mecanismo de movimentação de esteiras, que tem como função o traçamento das árvores em fustes num tamanho pré-determinado (LOPES,2007; LIMA e LEITE, 2014).

Nos últimos anos, o uso desta máquina tem sido bastante frequente, pois substituiu o traçamento feito por motosserra. A máquina opera na margem do talhão, pegando os feixes de madeira, realizando o traçamento e formando pilhas de toras para posterior carregamento (LIMA e LEITE, 2014).

Dependendo do sistema e das máquinas escolhidas na colheita florestal, a Garra Traçadora pode também trabalhar no interior do talhão. O volume de árvores traçadas geralmente está relacionado ao tamanho do cabeçote utilizado, potência da máquina base e diâmetro médio das árvores (LOPES et al., 2008).

A Garra Traçadora direciona sua lança para a pilha de madeira, apanha o feixe de árvores com o acionamento da garra hidráulica, puxa-o para a margem do talhão e o libera. Novamente a lança é deslocada com o auxílio de um gabarito. Aciona-se a garra, apanhando o feixe e suspendendo-o. Nessa etapa, ativa-se o sabre do motosserra, realizando o traçamento das árvores. Após a realização do corte, a lança puxa outra vez para o início da pilha de toras e o libera, desta forma repete-se o movimento até o término do traçamento completo deste feixe (FIEDLER et al., 2008).

3.8. Ergonomia

A Ergonomia é uma 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 (IEA,2018).

A palavra ergonomia vem do grego “ergon” (trabalho) e “nomos” (normas, leis), teve seu desenvolvimento durante a Segunda Guerra Mundial para tentar solucionar problemas de projeto gerados pela operação de equipamentos militares complexos para a época.

Segundo Laville (1977) o conteúdo da ergonomia como disciplina autônoma tem sua origem na Inglaterra, mas foi na França que iniciou seu desenvolvimento nos setores de pesquisas e ensino público, e progressivamente atingiu os setores industriais e começou a penetrar no setor privado. Nos Estados Unidos, a ergonomia tem se desenvolvido no campo da tecnologia do trabalhador em atividades. Assim, em 1959 foi fundada a *International Ergonomics Association*, posteriormente, no Brasil em 1983 foi criada a Associação Brasileira de Ergonomia.

Porém, Vitória (2000) afirma que somente na década de 70 é que a ergonomia passou a ser uma preocupação para os profissionais no Brasil. Sendo que o primeiro setor que procurou ajustar o “*design*” foi o automobilístico.

Ergonomia é o estudo sobre o relacionamento entre o homem e seu trabalho, equipamento e ambiente. Este estudo envolve a aplicação de conhecimentos sobre anatomia, fisiologia e psicologia na solução dos problemas surgidos deste relacionamento. Numa situação ideal, a ergonomia deve ser aplicada às etapas iniciais do projeto de uma máquina, ambiente ou local de trabalho, visando sempre ao conforto e à segurança do operador (IIDA, 2005).

COUTO (1995) a definiu como um conjunto de ciências e tecnologias que procura a adaptação confortável e produtiva entre o ser humano e seu trabalho, basicamente procurando adaptar as condições de trabalho às características do ser humano.

A ergonomia é a ciência que estuda o melhor meio de adaptar o trabalho, seus instrumentos, equipamentos, máquinas e dispositivos para o trabalhador, pela análise do ciclo de trabalho do operador, visando, assim, melhorar o ambiente, para que seja mais seguro e confortável (SILVA et al., 2011).

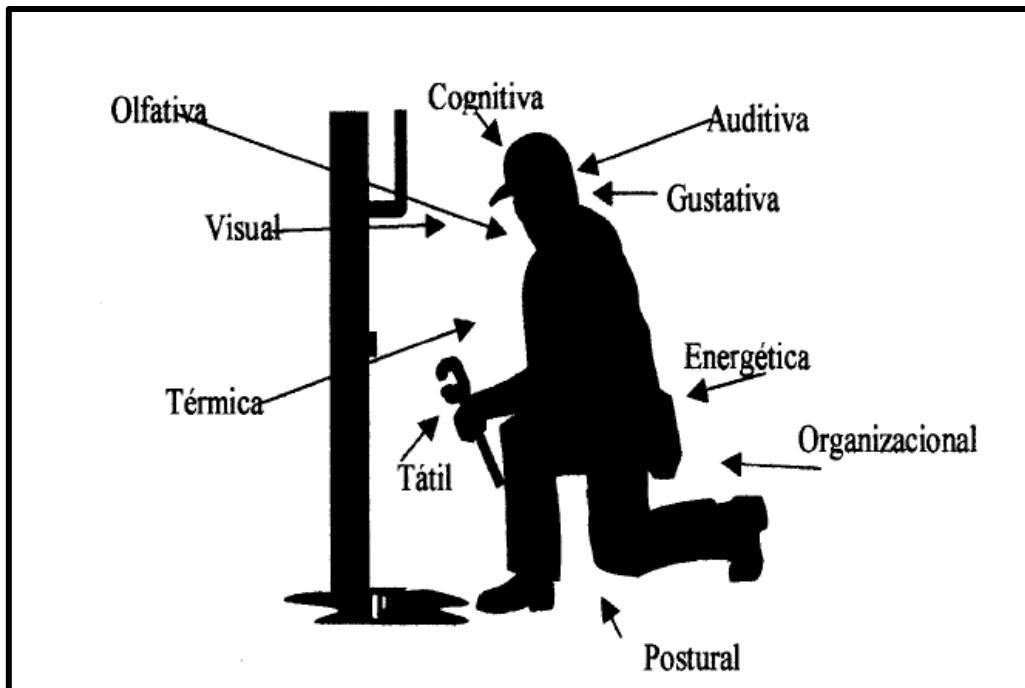
Dul & Weerdmeester (2004) afirmam que a ergonomia surge como um dos fatores mais importantes na redução do uso inadequado de equipamentos, sistemas e tarefas, além de contribuir na prevenção de erros operacionais, melhorando o desempenho.

Devido às infinitas situações de trabalho na agricultura, a ergonomia no Brasil deparou-se com um grande desafio. O trabalhador rural, seja ele agrícola ou florestal, sofre inúmeras cobranças, principalmente por qualidade e produtividade, muito em função da introdução de novas tecnologias no mercado (ABRAHAO & TERESO, 2004).

Segundo Lida (2003) cabe à ergonomia contribuir para que os novos projetos de máquinas sejam construídos e operados com segurança, absorvendo as diferenças individuais e certas variações de comportamento humano, de modo que estas não resultem em sérios acidentes, desastres ou catástrofes.

Vidal (1998) mostra na Figura 1 que, existe uma gama bastante ampla das interfaces diante do ser humano em alguma atividade laboral, sejam elas sensoriais, energéticas e posturais, com a organização e o ambiente formando interfaces ambientais, cognitivas e organizacionais, cabe a ergonomia modelar essas interações e buscar formas de adequação para o desempenho confortável, eficiente e seguro das atividades.

Figura 1 - Ergonomia com tecnologia de interfaces.



Fonte: Vidal (1998)

Com o avanço tecnológico no setor florestal muitos problemas ergonômicos foram solucionados, o que facilitou bastante o trabalho para o ser humano, principalmente a quantidade de tarefas que exigiam elevado esforço físico. Porém essa migração do operador para as cabines das máquinas trouxe outros problemas (BURMAN e LOFGREN, 2007).

Para Fiedler (2006) algumas máquinas e ferramentas podem apresentar deficiências de projeto que podem levar a problemas de segurança e conforto para o trabalhador, como ruído e vibração.

Além dos efeitos nocivos causados pela falta de qualidade ergonômica das máquinas, a elevada jornada de trabalho que o operador permanece nas atividades agrícolas, principalmente durante a época de safra, torna-se bastante árdua, uma vez que também estão sujeitos a poeiras, vibrações, intempéries e ruídos (IIDA, 2005).

Os níveis excessivos de ruído e vibração, geram uma sensação incomoda para os operadores, o que pode aumentar a fadiga física e mental, aumentando o risco de acidentes e de doenças laborais.

3.9. Ruído

Kroemer e Grandjean (2005) definem o som como sendo qualquer movimento mecânico repentino, que gera flutuações na pressão do ar, que se dissipam como ondas, de forma semelhante as que ocorrem na superfície da água. Quando estas variações de pressão sonora ocorrem com uma frequência e intensidade regulares, o ouvido humano reage a elas como sons. A intensidade do som é subjetivamente percebida de acordo com a altura do mesmo.

Já o ruído, segundo Lida (2003), pode ser considerado um som indesejável ou até mesmo um estímulo auditivo que não contém informações úteis para a tarefa em execução.

Tibiriçá (1997) descreve o ruído como sendo uma onda sonora causando sensação de desconforto e pode causar uma gradual perda de sensibilidade auditiva humana.

Do ponto de vista da higiene do trabalho o ruído é o fenômeno físico vibratório com características indefinidas de variações de pressão, no ar, em função de frequência, isto é, para uma dada frequência podem existir, em forma aleatória através do tempo, variações de diferentes pressões (SALIBA, 2009).

O ruído é considerado como sendo ondas sonoras, que podem causar desconforto e até mesmo a perda de sensibilidade auditiva do trabalhador dependendo do tempo de exposição (CUNHA *et al.*, 2009).

Os níveis de ruídos são medidos na escala logarítmica, cuja a unidade é decibel (dB), que é a unidade física da pressão sonora e é medido em micropascal (μPa). Sendo assim, o som mais baixo que um ouvido humano saudável pode detectar está em torno de 200 μPa , podendo detectar, também, sons até um milhão de vezes mais altos, o que fez com que fosse criada uma escala logarítmica para tornar a sua leitura

e o seu entendimento mais fáceis, surgindo assim o decibel (dB) (KROEMER E GRANDJEAN, 2005).

Zero decibel (dB) equivale a $2 \cdot 10^{-5} \text{ N.m}^{-2}$ ou $200 \mu\text{Pa}$. Se for acrescentado mais $2 \cdot 10^{-5} \text{ N.m}^{-2}$, tem-se 1 dB e assim sucessivamente. Esta correlação se dá uma vez que o decibel é medido em uma escala logarítmica (Equação 1) (SALIBA, 2004).

$$\text{SPL}_{\text{dB}} = 20 \log_{10} \frac{P_x}{P_0} \quad (1)$$

Onde:

SPL_{dB} : nível de pressão sonora em dB;

P_x : pressão sonora em μPa ;

P_0 : pressão sonora mais baixa que o ser humano pode detectar, ou seja $200 \mu\text{Pa}$.

Saliba (2004), realizando estudos em laboratório, com pessoas saudáveis, concluiu que a resposta do ruído é diferente nas diversas frequências, o ouvido humano é mais sensível ao ruído nas faixas de frequência de 2.000 a 5.000Hz e menos sensível nas frequências extremamente baixas e altas.

Ainda segundo o mesmo autor, as curvas de compensação “A”, “B”, “C” e “D” correspondem na curva “A” a audibilidade para baixos níveis de pressão sonora (similar ao ouvido humano), médios níveis de pressão sonora na curva “B”, altos níveis de pressão sonora (similar ao ruído de impacto) na curva “C” e a curva “D” corresponde a curva especializada para medições de aeroportos.

Os medidores de nível de pressão sonora são chamados popularmente de decibelímetros, podendo, de acordo com a sua precisão serem do tipo 1, 2 ou 3 e podendo possuir circuitos de compensação “A”, “B”, “C” e “D”, ou “A” e “C”, ou somente “A” (SALIBA, 2004).

Para Saliba (2009), a Norma Regulamentadora 15 (NR-15) e outras normas brasileiras pertinentes não estabelecem a precisão do medidor, ao contrário da *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), que recomenda que os medidores atendam, no mínimo, aos requisitos da norma S1-4-1983 da *American National Standards Institute* (ANSI) para equipamentos do tipo 2.

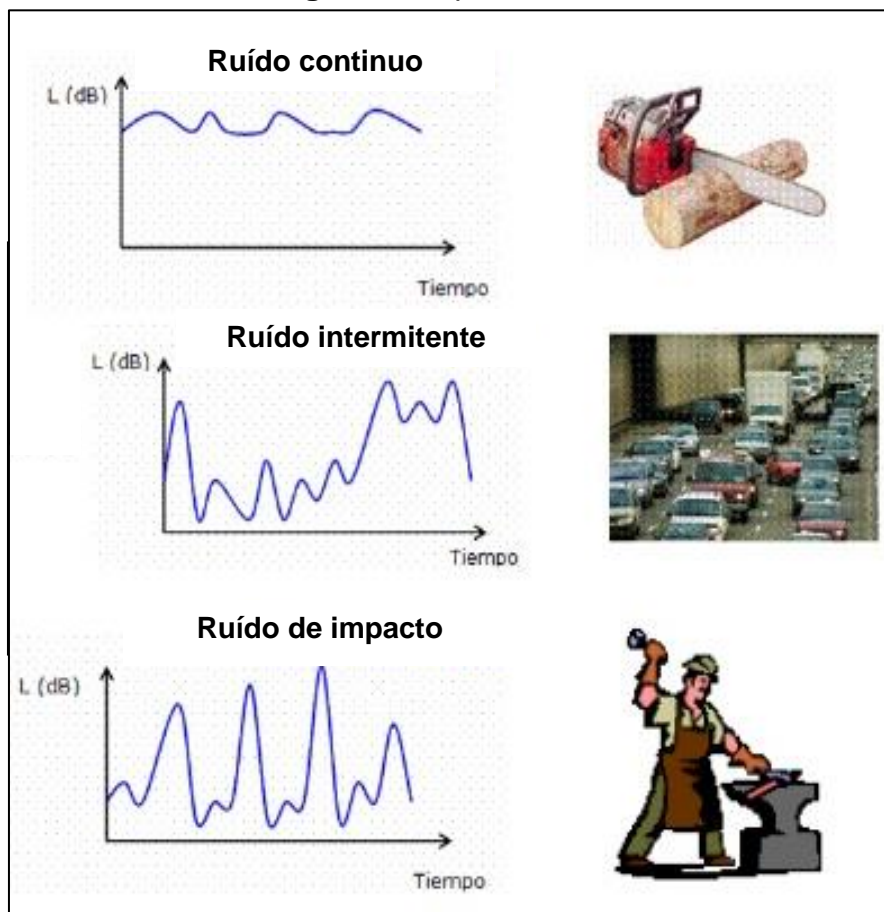
De acordo com a Norma Regulamentadora 15, em seu Anexo 1 entende-se como ruído contínuo ou intermitente, para fins de aplicação de limite de tolerância, o ruído que não seja ruído de impacto (Figura 2) (Brasil, 1978).

Segundo a Norma de Higiene Ocupacional 01 o ruído contínuo ou intermitente é todo e qualquer ruído que não está classificado como ruído de impacto ou impulsivo (FUNDACENTRO, 2001).

Do ponto de vista técnico, ruído contínuo é aquele cujo nível de pressão sonora varia 3 (dB(A)) durante um período longo de observação, ou seja, mais de 15 minutos (Saliba, 2004).

De acordo com a Norma Regulamentadora 15, em seu Anexo 2 (Brasil, 1978) e a Norma de Higiene Ocupacional 01 (FUNDACENTRO, 2001), entende-se por ruído de impacto aquele que apresenta picos de energia acústica de duração inferior a 1 (um) segundo, a intervalos superiores a 1 (um) segundo.

Figura 2 - Tipos de ruído.



Fonte: Fundacentro modificado (2001).

A ACGIH (2007) estabelece que o limite de tolerância para o ruído não protege todos os trabalhadores dos efeitos adversos da exposição do ruído. O limite de tolerância visa a proteger a maioria da população, de forma que a perda auditiva média produzida pelo ruído nas frequências de 500, 1.000 e 3.000 Hz, durante 40 anos de exposição, não exceda a 2 dB. Assim, os valores dos limites de tolerância são referenciais para um programa de conservação auditiva. Conseqüentemente, o limite de tolerância representa as condições sob as quais se acredita que a maioria dos trabalhadores expostos repetidamente não sofrerá efeitos adversos à sua capacidade de ouvir e de entender uma conversação normal.

Segundo a legislação brasileira por meio da Norma Regulamentadora 15 (NR-15) do Ministério do Trabalho e Emprego, o nível máximo de ruído permitido é de 85 dB (A), para uma exposição de oito horas diárias de trabalho (Tabela 1). A cada aumento do nível de ruído de 5 dB (A), a exposição deve ser reduzida pela metade (COUTO, 1998).

Tabela 1 - Limite de tolerância para ruídos contínuos ou intermitentes

NÍVEL DE RUÍDO dB(A)	MÁXIMA EXPOSIÇÃO DIÁRIA PERMISSÍVEL
85	8 horas
86	7 horas
87	6 horas
88	5 horas
89	4 horas e 30 minutos
90	4 horas
91	3 horas e 30 minutos
92	3 horas
93	2 horas e 40 minutos
94	2 horas e 15 minutos
95	2 horas
96	1 hora e 45 minutos
98	1 hora e 15 minutos
100	1 hora
102	45 minutos
104	35 minutos
105	30 minutos
106	25 minutos
108	20 minutos
110	15 minutos
112	10 minutos
114	8 minutos
115	7 minutos

Fonte: NR 15 da portaria 3214/78

Para os valores encontrados no nível de ruído intermediário, será considerada a máxima exposição diária permissível, relatada no nível imediatamente mais elevado (Brasil, 1978).

De acordo com Saliba (2004), os procedimentos de avaliação da exposição ocupacional são estabelecidos na NR-15, Anexo 1, norma técnica da FUNDACENTRO. Na NR-15, Anexo 1, o procedimento é bem simplificado. A norma não determina as especificações dos medidores nem particulariza os procedimentos de abordagem dos postos de trabalho e medições individuais integradas ao ruído de impacto, ao contrário do que ocorre com outras normas, especificamente aquelas recomendadas pela NHO-01.

Segundo Brasil (1978), a avaliação dos níveis de ruído deve ser realizada nos postos de trabalho e próxima à altura da zona auditiva do trabalhador. As leituras devem ser tomadas na curva de compensação "A", conforme descrito na Norma Regulamentadora 17 (NR-17).

A atividade em máquinas motoras possui um fator de grande importância, a relação homem-máquina. Em busca de uma operação com menos riscos à saúde do trabalhador, sem que ocorra perda de eficiência e produtividade, são necessários estudos nessa relação, procurando uma melhor ergonomia e segurança no posto de operação (RINALDI ET AL., 2008).

Os ruídos podem ser causados por diferentes fontes nas máquinas agrícolas e florestais, sendo a fonte mais importante o escapamento, que é responsável por aproximadamente 50 a 60% do ruído total. Além disso, outras fontes que inspiram atenção são: aspiração, ventilador e vibração que cada uma representa de 15 a 20% do ruído total (SIMONE et al., 2006).

A ineficiência da relação homem máquina pode causar danos aos operadores, devido a alguns fatores de risco, como, elevada carga, física e/ou mental, de trabalho, e como consequência ocorre a perda de produtividade e na qualidade do trabalho, aumentando a ocorrência de acidentes e o desenvolvimento de doenças ocupacionais (RINALDI ET AL., 2008).

Muitos estudos evidenciaram sérios efeitos (psicológicos e fisiológicos) do ruído no homem, tais como: perda da concentração, embaraço nas conversações, perda dos reflexos, diminuição da inteligibilidade das palavras, irritação permanente, perda auditiva até a surdez permanente, insegurança quanto à eficiência dos atos, dores de

cabeça, estresse; distúrbios cardiovasculares, fadiga, distúrbios hormonais, loucura, gastrite, disfunção digestiva, aumento da frequência cardíaca, alergias, contração dos vasos sanguíneos, distúrbios do sono entre outros (NORONHA, TRAVAGLIA FILHO e GARAVELLI, 2005).

O ruído pode causar grande risco de problemas auditivos aos trabalhadores, sendo deliberado pelo o nível de som, frequência e tempo de exposição (CUNHA *et al.*, 2009).

Segundo Menezes e Paulino (2004), o ruído pode apresentar os seguintes efeitos auditivos: trauma acústico, que é causado por sons de baixa duração, tais como, explosões, estampidos de arma de fogo, detonações, etc., e pode resultar em uma perda auditiva imediata, severa e permanente, conceituada como “trauma acústico”; perda auditiva temporária, que é aquela advinda de exposições moderadas, que podem inicialmente causar uma perda auditiva temporária, recuperável, sendo que os seus efeitos ainda não foram todos esclarecidos; e perda auditiva permanente, que é o tipo de perda auditiva conhecida popularmente por “PAIR”, sigla para “perda auditiva induzida por ruído”. Se ela for de origem ocupacional, então é chamada de “PAIRO”, sigla para “perda auditiva induzida por ruído ocupacional”. A perda auditiva é mensurada determinando-se limiares auditivos em várias frequências por meio do exame conhecido com audiometria.

Segundo Lida (2005), a consequência mais evidente do ruído é a perda auditiva, que pode ser de caráter temporário, reversível ou permanente, dependendo da frequência, intensidade e tempo de duração da exposição

A mesma autora afirma que seres humanos que ficam expostos a ruídos acima de 90 dB (A) sem proteção adequada podem apresentar algumas reações fisiológicas prejudiciais ao organismo, como, diminuição da concentração, da velocidade e precisão de movimentos, elevação da pressão arterial, interferência do sono, fadiga, queda da produtividade, comprometimento do sono e maiores riscos de acidentes de trabalho, dentre outras consequências.

O nível de ruído a que o operador está exposto tem relação direta com o aumento da possibilidade de acidentes, pois o ruído excessivo pode causar irritação e perda da concentração. A exposição ao ruído é uma das principais causas das perdas auditivas relacionadas ao trabalho. O ruído é um agente físico emitido em boa parte dos processos industriais, máquinas, ferramentas e motores. Essa exposição pode ser constante ou intermitente. O tempo de exposição, a intensidade do ruído e a

susceptibilidade do indivíduo têm relação direta com os danos à saúde. Seus efeitos nocivos não se restringem à audição, podendo acarretar distúrbios emocionais, cardiovasculares, fadiga e estresse (RINALDI et. al, 2008).

Segundo a OPAS (2001), a eliminação ou redução da exposição ao ruído é importante para a prevenção da PAIR e de inúmeras outras repercussões sobre o organismo humano. Idealmente o controle do ruído deve ser feito ainda na fase de projeto das instalações das unidades produtivas.

Segundo Saliba (2004), as medidas de controle do ruído são tratadas de três maneiras distintas, sendo elas: na fonte, na trajetória e no homem, sendo que as medidas de controle da fonte e da trajetória deverão ser prioritárias, quanto viáveis tecnicamente.

3.10. Vibração

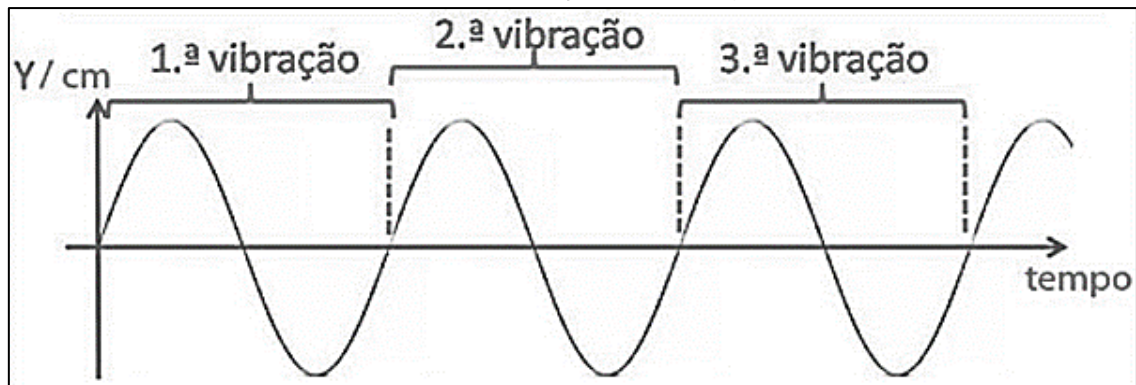
As vibrações ocorrem em todos os sistemas mecânicos em maior ou menor intensidade, não sendo possível eliminá-las, apenas diminuir seus efeitos através da adição de componentes que permitam controlar ou isolar estes fenômenos, deixando-os em níveis aceitáveis (BACK, 1983).

Saliba (2009) descreve que a vibração é um movimento oscilatório de um corpo devido a forças desequilibradas de componentes rotativos e movimentos alternados de uma máquina ou equipamento. Se o corpo vibra, descreve um movimento oscilatório e periódico, envolvendo deslocamento em um tempo. Assim, envolvida no movimento tem-se a velocidade, aceleração e frequência.

O mesmo autor descreve ainda que a convenção N^o 148 da Organização Internacional do Trabalho (OIT) estabelece que o termo “vibrações” compreende toda vibração transmitida ao organismo humano por estruturas sólidas e que seja nociva à saúde ou contenha qualquer outro tipo de perigo.

Para Franchini (2007), é considerado como vibração o movimento de deslocamento oscilatório e periódico de um corpo durante certo período de tempo, possuindo uma velocidade, uma aceleração e uma frequência, o que acaba gerando um número de ciclos completos por unidade de tempo (Figura 3).

Figura 3 - Ciclos de vibrações ao longo do tempo



Fonte: http://www.aulas-fisica-quimica.com/8f_05.html

Rao (2008) afirma que vibração é qualquer movimento que se repete após um intervalo de tempo. E que a energia vibracional pode, em um fenômeno conhecido como amortecimento, ser convertida em calor ou som. Assim, uma das principais estratégias para reduzir a ação das vibrações sobre o corpo humano e permitir a preservação da saúde, conforto e eficiência de trabalho, é o desenvolvimento e adoção de componentes e estruturas cada vez mais capazes de proteger o operador da máquina das vibrações emitidas pela mesma através da dissipação da energia vibracional que chega até o posto de operação.

Para Lanças et al. (2009), umas das grandes causas de afastamentos por doença de trabalho no país estão ligadas à vibração, que podem ocasionar grande desconforto e aumentam a fadiga do trabalhador. A vibração é classificada de acordo com a região do corpo atingida, podendo ser, vibrações de corpo inteiro, comuns em atividades de transporte, tais como caminhão, trator, empilhadeira, ônibus, etc., e vibrações de extremidades que afetam principalmente mãos e braços.

As vibrações podem ocorrer nas atividades mecanizadas, afetando o conforto, a eficácia do trabalho e a saúde e segurança do operador. Quando o operador sofre exposições a vibrações prolongadas, a parte inferior das costas pode sofrer algum tipo de dano, causado por choques mecânicos. O grau de vibração é afetado principalmente pela velocidade de deslocamento, tipo do terreno, pneus, amortecedores, cabine e assento (BRITO, 2007).

Na década de 40, as vibrações foram avaliadas como sendo um grave problema à saúde dos trabalhadores. Estudos de 1949 identificaram, em motoristas

de veículos militares, dores na coluna, o que resultou em aposentadoria dos mesmos (HSE, 2001).

Entre as décadas de 60 e 70, foi o período onde ocorreu o maior desenvolvimento dos conhecimentos e da consciência a respeito das vibrações ocupacionais. Isso ocorreu pelo fato do aumento do número de laboratórios que possuíam equipamentos específicos para esse tipo de medição e também porque os grupos de trabalho que faziam parte da *International Organization for Standardization* (ISO) se reuniram para desenvolver uma norma para as vibrações ocupacionais de corpo inteiro e para vibrações localizadas (HSE, 2001)

Para Saliba (2009) de acordo com a Norma ISO, os principais efeitos vasculares devido à exposição à vibração no sistema mão-braço podem ser de ordem vascular, neurológica, osteoarticular e muscular. De acordo com Iida (2003) em trabalhadores florestais que usam motosserras, há uma degeneração gradativa do tecido vascular e nervoso, causando perda da capacidade manipulativa e tato nas mãos, dificultando o controle motor.

Iida (2005) afirma ainda que a vibração pode provocar efeitos graves no organismo humano, como perda de equilíbrio, falta de concentração, visão turva, irritabilidade, degeneração dos discos vertebrais e diminuição da acuidade visual.

Segundo Kroemer e Grandjean (2005) as vibrações podem prejudicar a percepção visual, o processo mental da informação, a capacidade motora e de precisão.

Lesões que afetam órgãos internos são muitas vezes causadas pela exposição contínua à vibração nos postos de trabalho, essas lesões podem ter intensidades diferentes por dois fatores: nível de intensidade da vibração e parte do corpo afetada (KROEMER E GRANDJEAN, 2005).

A preocupação com a saúde do operador deve ser constante devido à gravidade das injúrias ao organismo que podem decorrer por descuidos em relação à vibração ocorrente durante o desempenho das atividades com o trator. Por exemplo, a exposição às vibrações de corpo inteiro pode levar ao desenvolvimento de patologias na região lombar e lesões da coluna vertebral (SOEIRO, 2011).

Segundo a norma ISO (1985), existem três tipos de exposição humana à vibração em operação de máquinas, a saber: vibrações transmitidas simultaneamente à superfície de todo o corpo ou a partes substanciais dele; vibrações transmitidas ao corpo como um todo, através da superfície de sustentação, os pés de um homem

ereto, as nádegas de um homem sentado ou a área de sustentação de um homem reclinado; e vibrações aplicadas a uma parte específica do corpo, assim como as provenientes do encosto para cabeça, pedais e pontos de empunhadura das mãos.

Na Norma ISO 2631 (1978), são definidos três limites de exposição do corpo humano às vibrações buscando estabelecer os níveis de conforto, eficiência de trabalho e risco a saúde, sendo eles: nível de conforto reduzido (preservação do conforto), nível de eficiência reduzida/fadiga (preservação da eficiência de trabalho) e limite de exposição (preservação da saúde e/ou segurança). Os valores utilizados pelas normas são obtidos através de trabalhos que buscam mensurar o efeito das vibrações sobre o corpo humano. Porém com a nova edição esses limites não são mais citados.

A norma ISO 2631 (1997) apresenta valores de aceleração (Tabela 2), os quais indicam a reação dos indivíduos em relação ao conforto quando expostos à vibração (MANSFIELD, 2005).

Tabela 2 - Aceleração como indicação das reações com relação ao conforto

Aceleração (m/s²)	Reações com relação ao conforto
< 0,315	Confortável
0,315 a 0,63	Pouco Desconfortável
0,5 a 1,0	Razoavelmente Desconfortável
0,8 a 1,6	Desconfortável
1,25 a 2,5	Muito Desconfortável
>2,5	Extremamente Desconfortável

Fonte: ISO 2631 (1997)

Na Tabela 3 são apresentadas considerações técnicas e a atuação recomendada em função da aceleração encontrada na condição de exposição avaliada.

Tabela 3 - Critério de julgamento e tomada de decisão

aceleração (m/s²)	Consideração Técnica	Atuação recomendada
0 a 0,5	Aceitável	No mínimo manutenção da condição existente
> 0,5 a < 0,9	Acima do nível de ação	No mínimo adoção de medidas preventivas
0,9 a 1,1	região de incerteza	Adoção de medidas preventivas e corretivas visando à redução da exposição diária
acima de 1,1	acima do limite de exposição	Adoção imediata de medidas corretivas

Fonte: Norma de Higiene Ocupacional 09 – NHO 09 modificada (2013).

A análise de vibração consiste em posicionar um sensor, chamado de acelerômetro, sobre alguns pontos peculiares da máquina, em diferentes direções e tomar o sinal de vibração gerado pelos componentes dinâmicos da máquina por alguns segundos. O acelerômetro pode ser fixado temporariamente com imã ou outro dispositivo, ou permanentemente, dependendo das condições de acesso ao ponto de medição (SEMEQ, 2013).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Caracterização da área de estudo

Esta pesquisa foi realizada em uma fazenda localizada no município de Bofete, Estado de São Paulo, com coordenadas geográficas Latitude: 23° 6' 7" S e Longitude: 48° 15' 28" W (Figura 4), com altitude de 576 metros, pertencente a uma empresa florestal localizada no município Itatinga, Estado de São Paulo.

O clima característico da região segundo a classificação de Köppen, pode ser enquadrada como Cwa, que caracteriza clima mesotérmico, úmido com inverno seco e temperatura média de 21,5° C, com pluviosidade média anual de 1490,6 mm.

O relevo da região de estudo é suave ondulado e o experimento foi realizado em uma floresta homogênea de *Eucalyptus grandis*, clonal, de primeiro corte, com sete anos de idade.

Figura 4 - Localização do município onde foi realizado o experimento



Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Bofete> (2018)

Os ensaios foram realizados pelas três máquinas no mesmo talhão. E está demonstrado na Figura 5.

Figura 5 - Talhão de coleta dos dados



Fonte: *Google earth* modificado (2019)

4.2. Descrição das máquinas

4.2.1. Feller Buncher

A máquina utilizada para a operação de corte das árvores foi o Feller Buncher, sendo que algumas de suas características podem ser verificadas na tabela abaixo.

4.2.2. Skidder

A máquina utilizada para a operação de extração dos feixes de madeira o Skidder e algumas das suas características estão expostas abaixo.

4.2.3. Garra Traçadora

A operação de traçamento da madeira foi realizada pela Garra Traçadora e suas características estão apresentadas abaixo.

Tabela 4 - Características das máquinas utilizadas

Máquina	Ano	Potência (Kw)	Rodado	Massa (kg)
Feller Buncher 	2013	157	Esteira	22940
Skidder 	2017	210	Pneu	22416
Garra Traçadora 	2013	157	Esteira	22940

4.3. Coleta de dados

Os mesmos procedimentos de coleta dos dados foram realizados nas três máquinas. Os níveis de ruídos e vibrações foram coletados com as máquinas estáticas e os motores funcionando em marcha lenta, posteriormente a rotação do motor foi elevada para as suas respectivas rotações de trabalho com a máquina ainda estática, e por último as medições foram realizadas com as máquinas em operação, totalizando três situações diferentes de funcionamento das máquinas de colheita florestal, chamadas de tratamentos (Tabela 5).

Tabela 5 - Descrição dos tratamentos

Tratamentos	Descrição
T1	Máquina estática com baixa rotação
T2	Máquina estática com rotação de trabalho
T3	Máquina em operação

Cinco repetições foram realizadas para cada tratamento, cada repetição foi composta de 30 minutos de coleta, sendo a leitura dos dados efetuadas a cada 10 segundos, gerando 180 leituras por repetição e 900 leituras no total para cada máquina (Tabela 6).

Tabela 6 - Numero de leituras em cada repetição dos três tratamentos

	T1	T2	T3
Repetição 1	180	180	180
Repetição 2	180	180	180
Repetição 3	180	180	180
Repetição 4	180	180	180
Repetição 5	180	180	180
Total	900	900	900

Cada repetição de 30 minutos com 180 leituras nos três tratamentos gerou medidas de ruído (dB), assim como para vibração ($m.s^{-2}$). Número de leituras dentro do calculado pelo teste t-student, realizado em um teste piloto.

4.3.1. Ruído

A avaliação ocupacional do ruído baseou-se nos critérios de avaliação estabelecidos pela NR 15, anexo 1. A norma estabelece que os níveis de ruído contínuo ou intermitente devem ser medidos em decibéis (dB) com instrumento de nível de pressão sonora operando no circuito de compensação "A" e circuito de resposta lenta (SLOW). As leituras devem ser feitas próximas ao ouvido do trabalhador.

Foi utilizado um medidor de nível de pressão sonora fabricado pela Instrutherm modelo DEC-416 (Figura 6). Suas principais características são: display de cristal líquido (LCD) de 4 dígitos, microfone de eletreto condensado destacável, data hold:

congela a leitura no display, precisão: ± 1 dB, com escala de leitura de 30 a 130dB, frequências de ponderação A e C Fabricado conforme norma: IEC - 61672 / Classe - Tipo 1.

Figura 6 - Medidor de pressão sonora DEC-416



Nas medições de ruído, utilizou-se o circuito de compensação “A” do medidor de pressão sonora. Portanto, os valores medidos em dB(A) representam o número de pressão sonora equalizado de acordo com a curva “A” do aparelho, padronizada internacionalmente, citadas pela NBR-9999 (ABNT, 1987).

As medições do ruído apresentado nos tratores durante os ensaios foram feitas na altura do ouvido do operador, na direção da fonte sonora de maior intensidade. As máquinas estavam com as portas e janelas fechadas e ar condicionado ligado na regulagem de trabalho.

Para realizar as medições, colocou-se o medidor de nível de pressão sonora na altura do ouvido do operador (Figura 7).

Figura 7 - Medição do ruído no Feller Buncher, Skidder e Garra Traçadora, respectivamente



(a)



(b)



(c)

(a) – Feller Buncher

(b) – Skidder

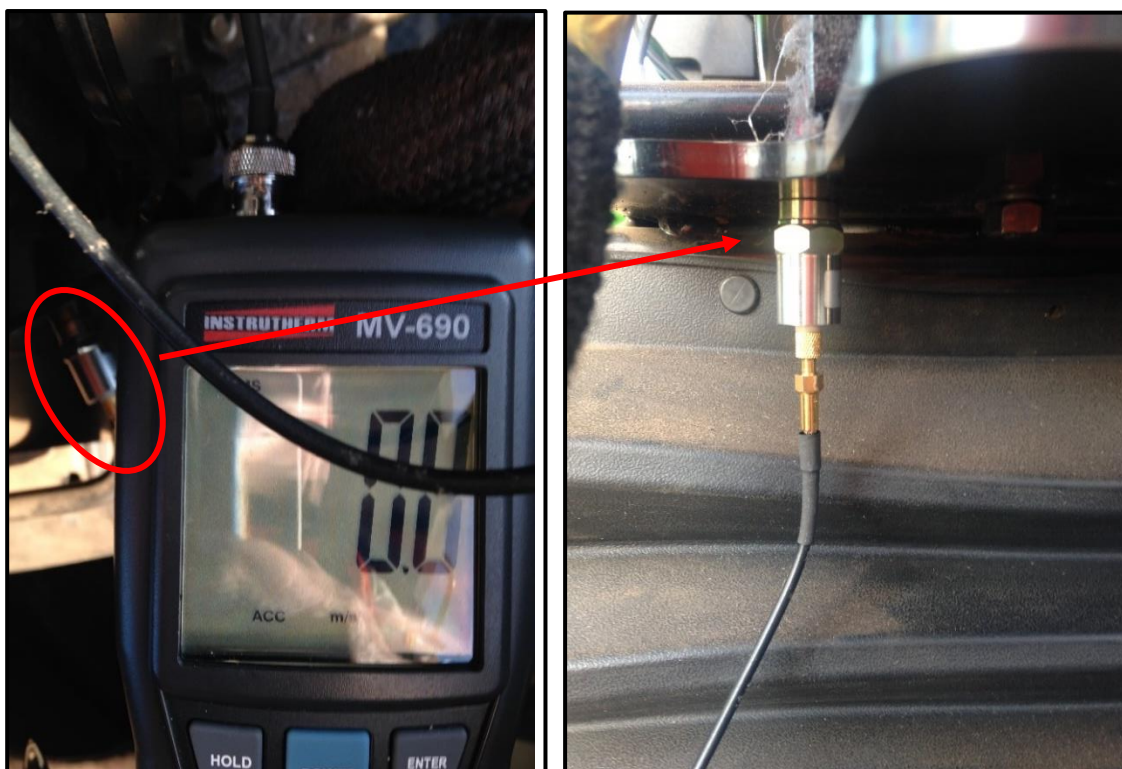
(c) – Garra Traçadora

A medição da vibração, em m/s^2 , foi efetuada nas estruturas dos assentos das máquinas (Figura 9 e 10), para verificar a vibração que chegava no assento, podendo gerar desconforto e ao longo do tempo problemas de saúde.

Figura 9 - Detalhe do acelerômetro instalado no Feller Buncher e na Garra Traçadora



Figura 10 - Detalhe do acelerômetro instalado no Skidder.



Foram feitas 5 repetições para cada tratamento, de modo que cada repetição teve duração de 30 minutos, e, nesse intervalo de tempo, o aparelho foi programado para fazer uma leitura a cada 10 segundos, totalizando 180 leituras por repetição. Assim, no final das avaliações, obteve-se um total de 900 leituras por tratamento em cada máquina avaliada.

Assim como na avaliação do ruído, a partir das medições realizadas em cada situação de funcionamento das máquinas (tratamentos), ou seja, máquina funcionando em rotações lenta e de trabalho, com a máquina estática, e com a máquina em operação, procurou-se verificar possíveis diferenças significativas entre os níveis médios de vibração (Tabela 9).

Tabela 9 - Comparação dos níveis de vibração

Máquina	Vibração				
Feller Buncher	T1	X	T2	X	T3
Skidder	T1	X	T2	X	T3
Garra Traçadora	T1	X	T2	X	T3

Os valores obtidos dessas avaliações no tratamento 3 foram confrontados com as normas (ISO 2631 e NHO 09) para caracterizar o nível de desconforto gerado e a tomada de decisão a ser realizada (Tabela 10).

Tabela 10 - Confrontamento do nível de vibração com a norma ISO 2631 e NHO 09

Máquina	Vibração					
Feller Buncher	T3	X	ISO 2631	T3	X	NHO 09
Skidder	T3	X	ISO 2631	T3	X	NHO 09
Garra Traçadora	T3	X	ISO 2631	T3	X	NHO 09

4.4. Análise estatística

Para comparar as três situações de funcionamento das máquinas foi utilizada a análises de variância (ANOVA) complementada pelo teste de comparações múltiplas de Tukey.

As médias seguidas de mesma letra nas linhas indicam que os valores apresentados não diferiram entre si, a 1% de probabilidade.

5 RESULTADOS

5.1. Ruído

5.1.1. Feller Buncher

O ruído médio e o desvio padrão nas três máquinas, encontrado para cada tratamento, está descrito na Tabela 11.

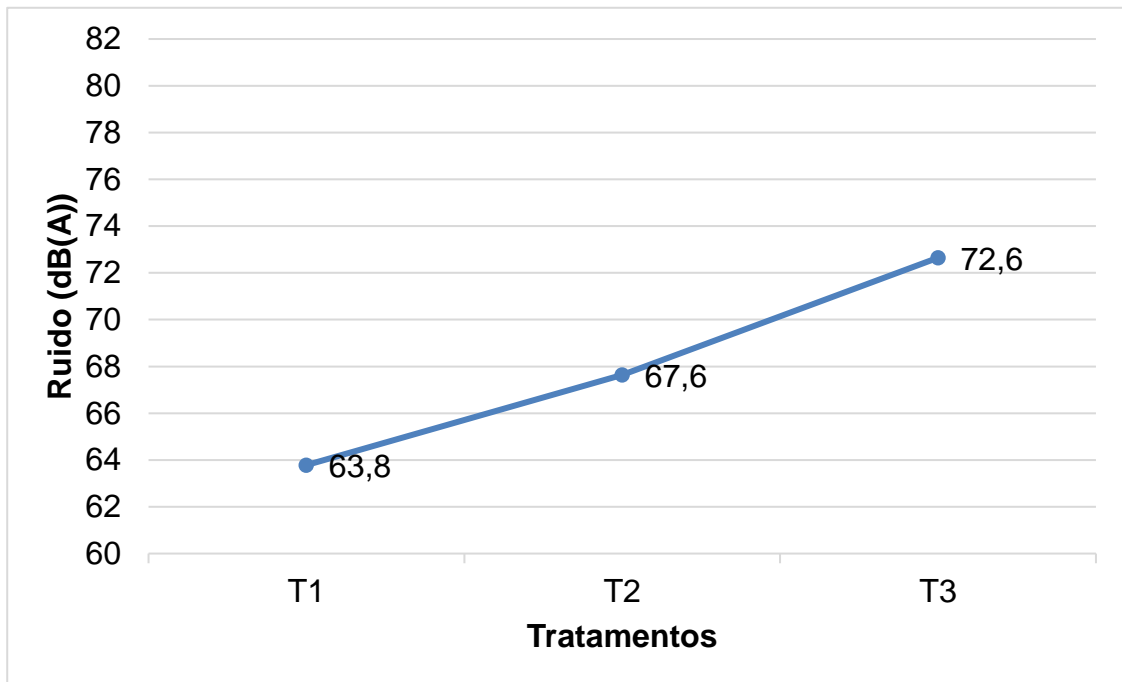
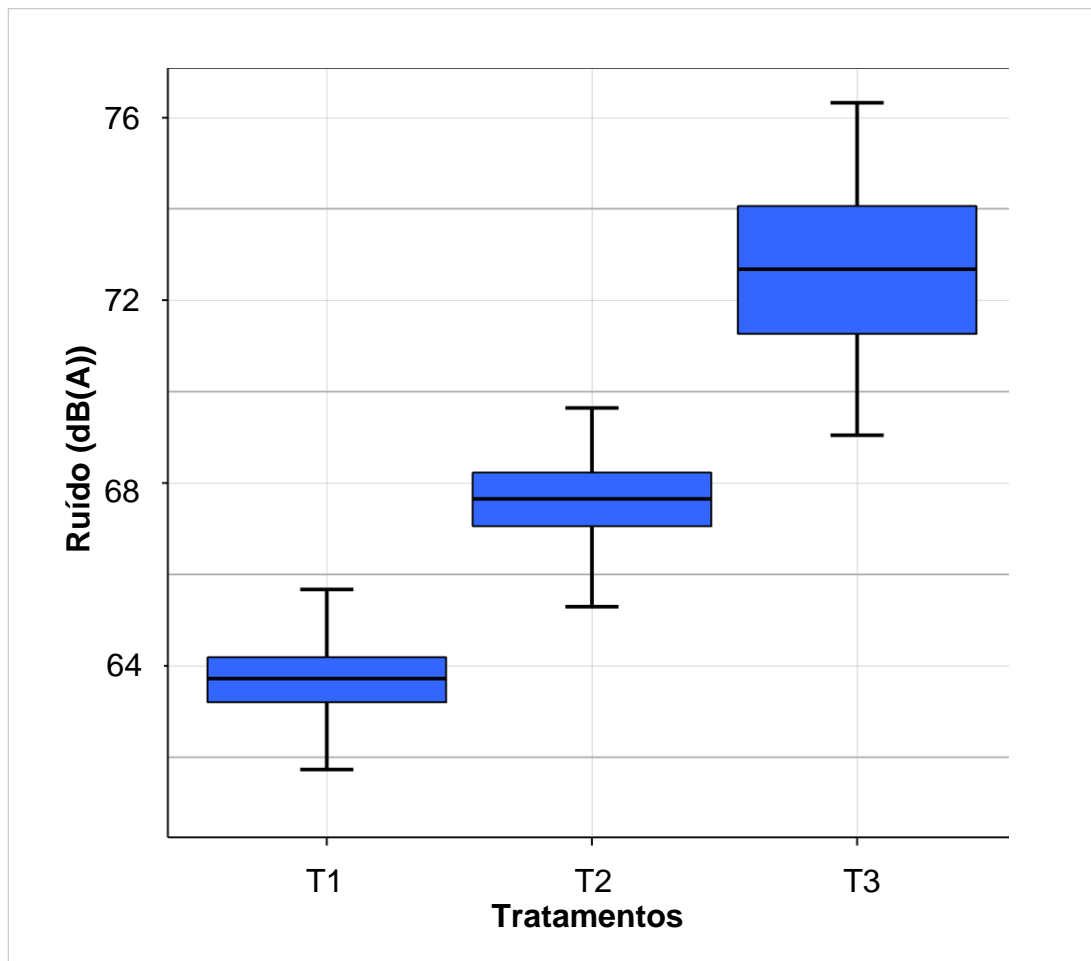
Tabela 11 - Médias (desvio padrão entre parênteses) do nível de ruído (dB(A)) no Feller Buncher em função dos tratamentos.

	T1	T2	T3
Ruído (dB(A))	63,8 a (0,81)	67,6 b (0,79)	72,6 c (1,72)

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,01$)

Pela análise estatística verificou-se que os tratamentos diferem estatisticamente entre si, demonstrando que o incremento da rotação do motor aumenta o nível de ruído produzido e que em operação esse ruído é aumentado ainda mais.

Nas Figura 11 e 12 é possível visualizar uma curva crescente, onde, à medida que a rotação do motor é aumentada o nível do ruído aumenta e em operação esse ruído também sofre um aumento, provavelmente pelo fato dos ruídos gerados pelas partes moveis da máquina e pelo disco de corte em ação.

Figura 11 - Níveis de ruído do Feller Buncher nos tratamentos**Figura 12 - Boxplot dos níveis de ruído do Feller Buncher nos tratamentos**

Paini (2016), que analisou um Feller Buncher em operação, encontrou nível de ruído de 73 dB (A), valor bem próximo ao encontrado nesse trabalho que foi de 72,6 dB(A).

Já Fernandes et al. (2011), avaliando 3 máquinas em operação, nas mesmas condições do presente trabalho, encontrou níveis de ruído de 77, 76, e 78 dB (A), valores superiores ao deste trabalho.

Minette et al. (2007), que analisou o Feller Buncher, parado, com rotação de trabalho em duas empresas, obteve um nível de ruído no de 80 dB(A) na empresa 1 e de 83,1 dB(A) na empresa 2, valores superiores ao encontrado nesse estudo, que foi de 67,6 dB(A) para a mesma situação.

Fernandes et al. (2011) na avaliação de 3 Feller-Bunchers, parados, com a cabine fechada, ar-condicionado ligado e com rotação de trabalho, obteve um nível de ruído interno de 75, 76 e 76 dB (A), respectivamente, para os três tratores analisados, valores acima do encontrado nesse estudo.

O tratamento 3, que apresentou ruído de 72,6 dB(A) está em conformidade com a NR-15, permitindo uma jornada de trabalho completa de 8 horas diárias.

5.1.2. Skidder

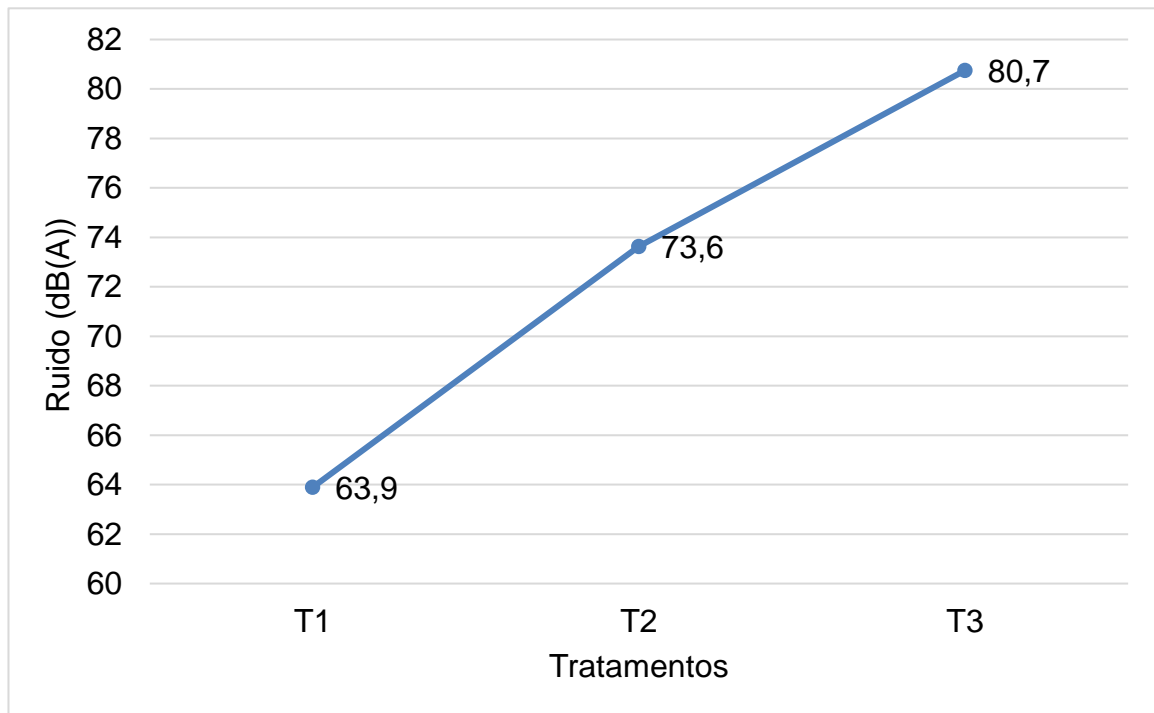
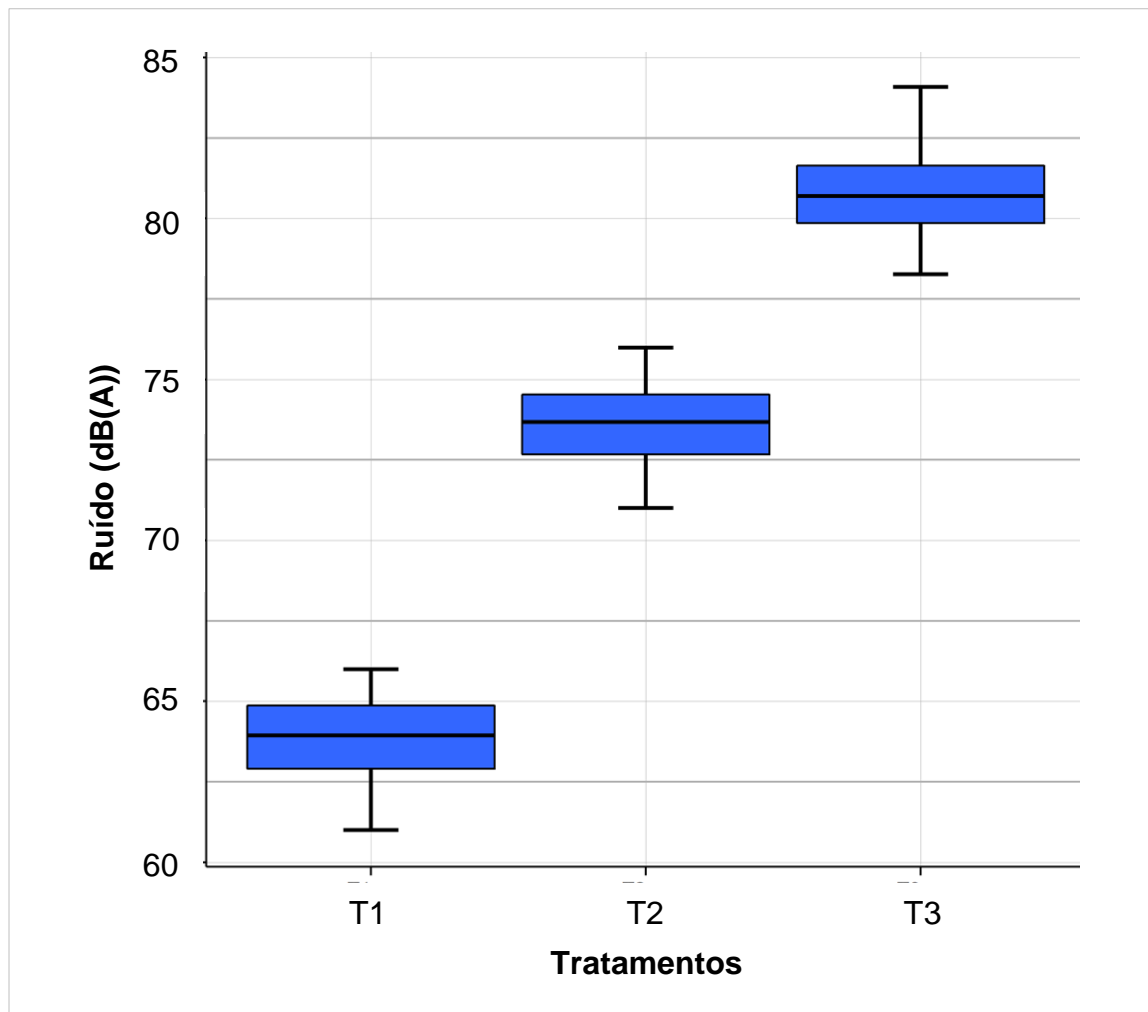
O ruído médio emitido pelo Skidder para cada tratamento está descrito na Tabela 12.

Tabela 12 - Médias (desvio padrão entre parênteses) do nível de ruído (dB(A)) no Skidder em função dos tratamentos.

	T1	T2	T3
Ruído (dB(A))	63,9 a (1,17)	73,6 b (1,19)	80,7 c (1,13)

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,01$)

Verificou-se diferença estatística entre os 3 tratamentos. Sendo que a máquina em operação possui o maior nível de ruído, seguido pela máquina em rotação de trabalho, porem estática e por último a máquina estática em baixa rotação (Figuras 13 e 14).

Figura 13 - Níveis de ruído do Skidder nos tratamentos**Figura 14 - Boxplot dos níveis de ruído do Skidder nos tratamentos**

Minette et al. (2007) encontrou nível de ruído de 80 dB(A) emitido pelo Skidder, parado, com cabine fechada, ar condicionado ligado e com o motor na rotação de trabalho, valor este superior ao encontrado nesse estudo, que foi de 73,6 dB (A).

Já com a máquina operando, nas mesmas condições de relevo, Minette et al. (2007) constatou níveis de ruído de 83 dB(A) na empresa 1 e de 78,9 dB(A) na empresa 2. Enquanto Paini (2016), constatou uma emissão de ruído de 82 dB (A) e Lima (2013) uma média de ruído de 79 dB(A). Todos valores próximos ao encontrado nesse estudo, que foi de 80,7 dB(A).

Em todos os casos os valores permanecem abaixo do valor permitido pela legislação brasileira, para uma jornada de oito horas de trabalho diário.

5.1.3. Garra Traçadora

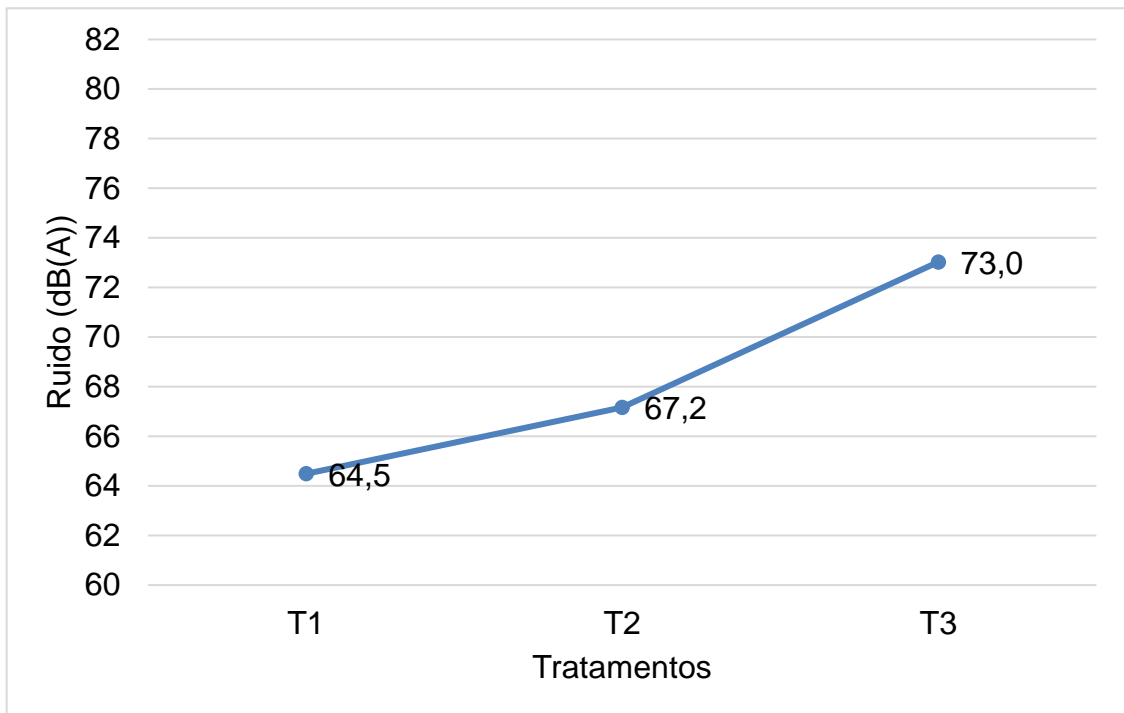
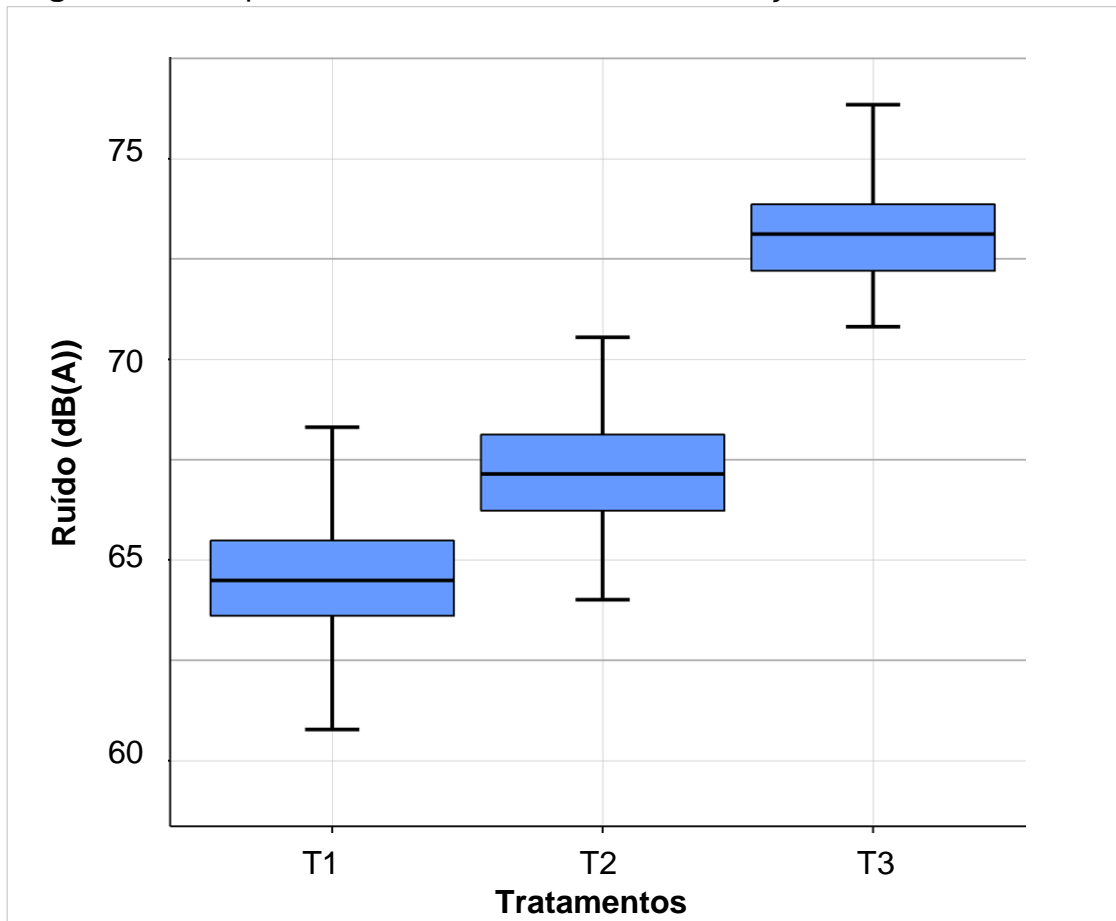
O ruído médio da Garra traçadora encontrado para cada tratamento está descrito na Tabela 13.

Tabela 13 - Médias (desvio padrão entre parênteses) do nível de ruído (dB(A)) da garra traçadora em função dos tratamentos

	T1	T2	T3
Ruído (dB(A))	64,5 a (1,57)	67,2 b (1,22)	73,0 c (1,10)

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,01$)

O estudo da garra Traçadora apresentou a mesma tendência das outras máquinas, ou seja, ocorreu um aumento do ruído em função dos tratamentos, do tratamento 1 para o 3 respectivamente (Figura 15 e 16).

Figura 15 - Níveis de ruído da Garra Traçadora nos tratamentos**Figura 16 - Boxplot dos níveis de ruído da Garra Traçadora nos tratamentos**

Para a garra-traçadora ligada em rotação de trabalho Minette et al. (2007), encontrou uma média de 74,2 dB(A), valor superior quando comparado ao desse trabalho, que foi de 67,2 dB(A). Com a máquina em operação o valor foi de 74,9 dB(A), valor parecido com o do presente trabalho, que foi de 73 dB(A).

Pôde-se constatar que o nível de ruído está dentro do limite aceitável no Brasil, para uma jornada de 8 h de trabalho, que é de 85 dB(A).

Grande parte dos estudos levantados obtiveram como resultados valores superiores aos encontrados no presente trabalho, para as três máquinas analisadas. Essa diferença pode ter ocorrido pelo fato de possíveis problemas na vedação das cabines, ajustes no motor que podem interferir na emissão do ruído. E também na diferença de terreno, da densidade da madeira, diâmetro da tora, variáveis que podem interferir na emissão de ruídos com a máquina em operação.

5.2. Vibração

5.2.1. Feller Buncher

A vibração média do Feller Buncher encontrada para cada um dos tratamentos está descrita na Tabela 14.

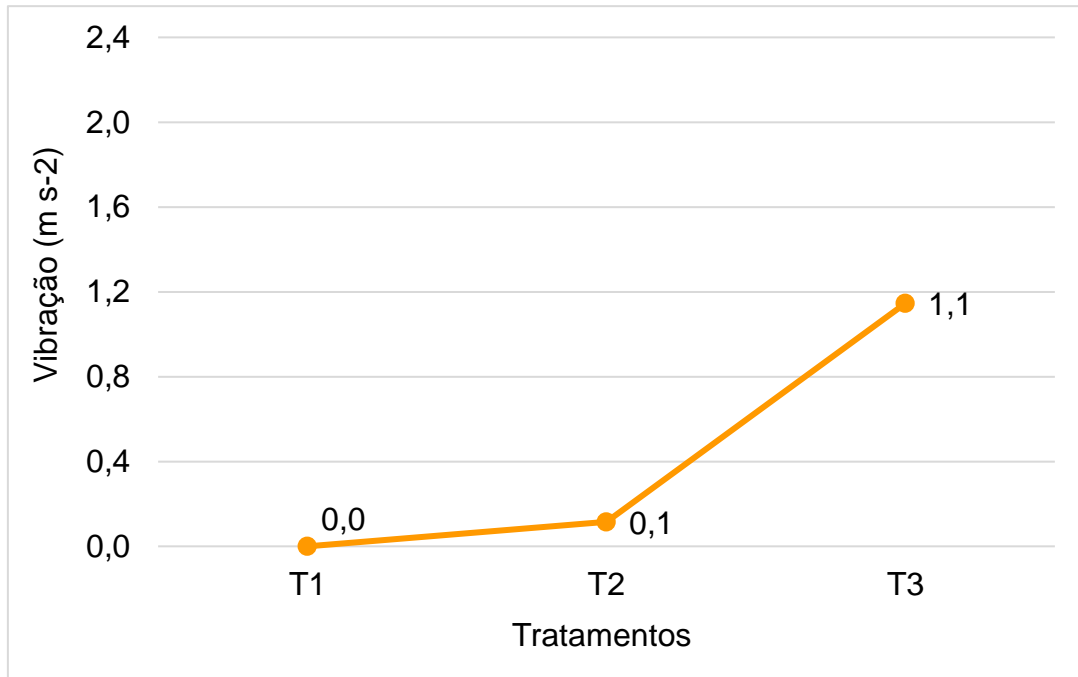
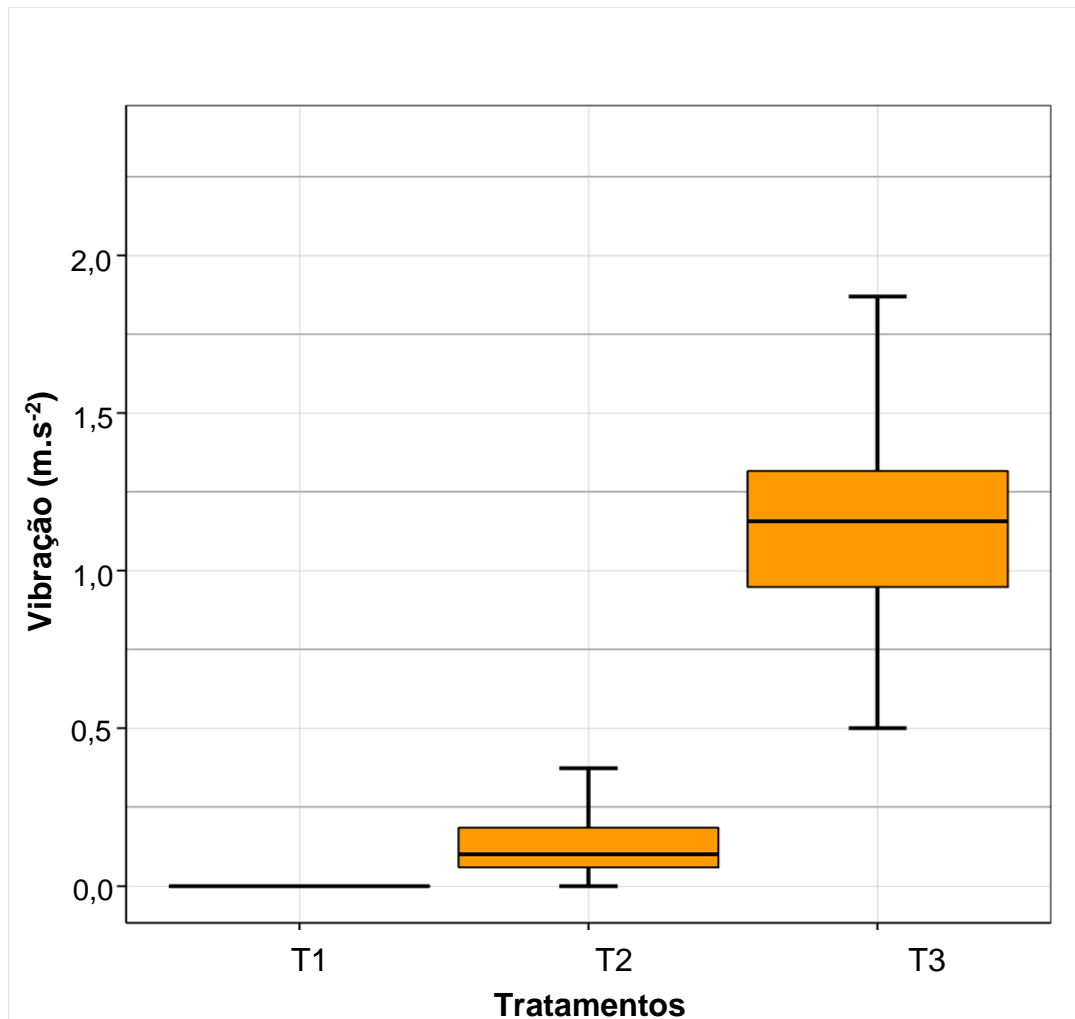
Tabela 14 - Médias (desvio padrão entre parênteses) da vibração ($m s^{-2}$) no Feller Buncher em função dos tratamentos

	T1	T2	T3
Vibração ($m s^{-2}$)	0,0 a (0,0)	0,1 b (0,07)	1,1 c (0,25)

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,01$)

Na tabela acima é possível verificar que os tratamentos diferem estaticamente entre si, evidenciando que ocorre um aumento da vibração da base do assento da máquina juntamente com o aumento da rotação do motor, sendo ainda maior, com a máquina em operação.

Nas Figuras 17 e 18 fica claro o aumento do nível de vibração juntamente com o aumento da rotação do motor e a máquina em operação. Isso acontece pelo fato de quando a máquina está em operação ocorrer vibrações provenientes das partes moveis, que entram em movimentação, e pelo movimento da esteira na locomoção da máquina.

Figura 17 - Níveis de vibração do Feller Buncher nos tratamentos**Figura 18 - Boxplot dos níveis de vibração do Feller Buncher nos tratamentos.**

Almeida et al. (2015) avaliando um Feller-Buncher em operação obteve como resultado uma vibração de $1,12 \text{ m s}^{-2}$, valor muito semelhante ao encontrado nesse trabalho.

Avaliando a mesma máquina base, porém com outra função, Souza (2015), encontrou um valor bem inferior ao desse estudo. Pelo fato da máquina desempenhar um trabalho menos brusco que o Feller Buncher, apresentou essa diferença na emissão de vibração.

5.2.2 Skidder

As vibrações médias geradas no Skidder nos três tratamentos estão descritas na Tabela 15.

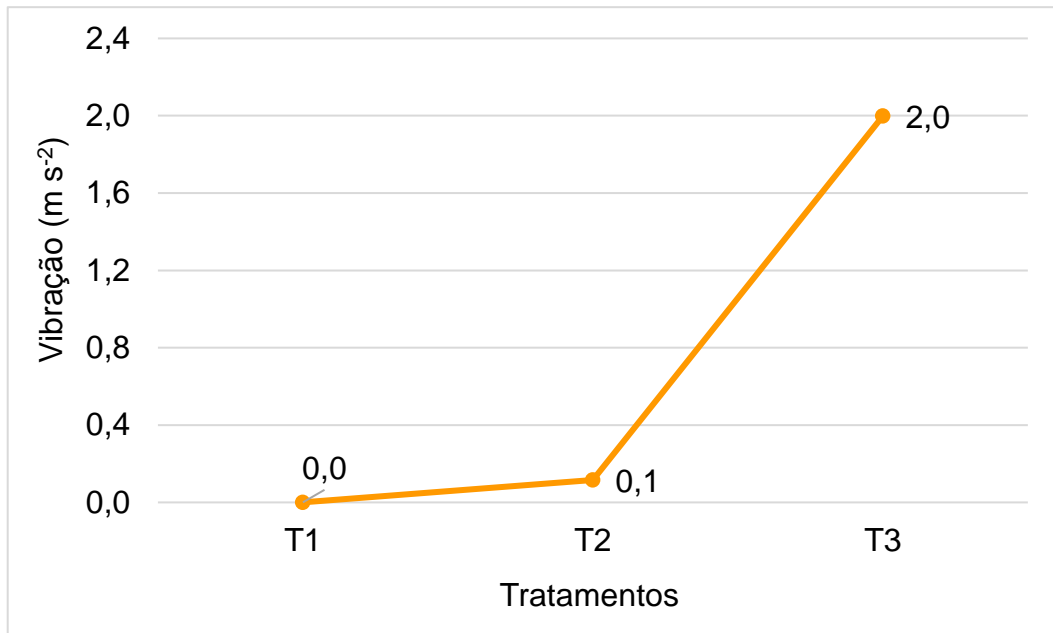
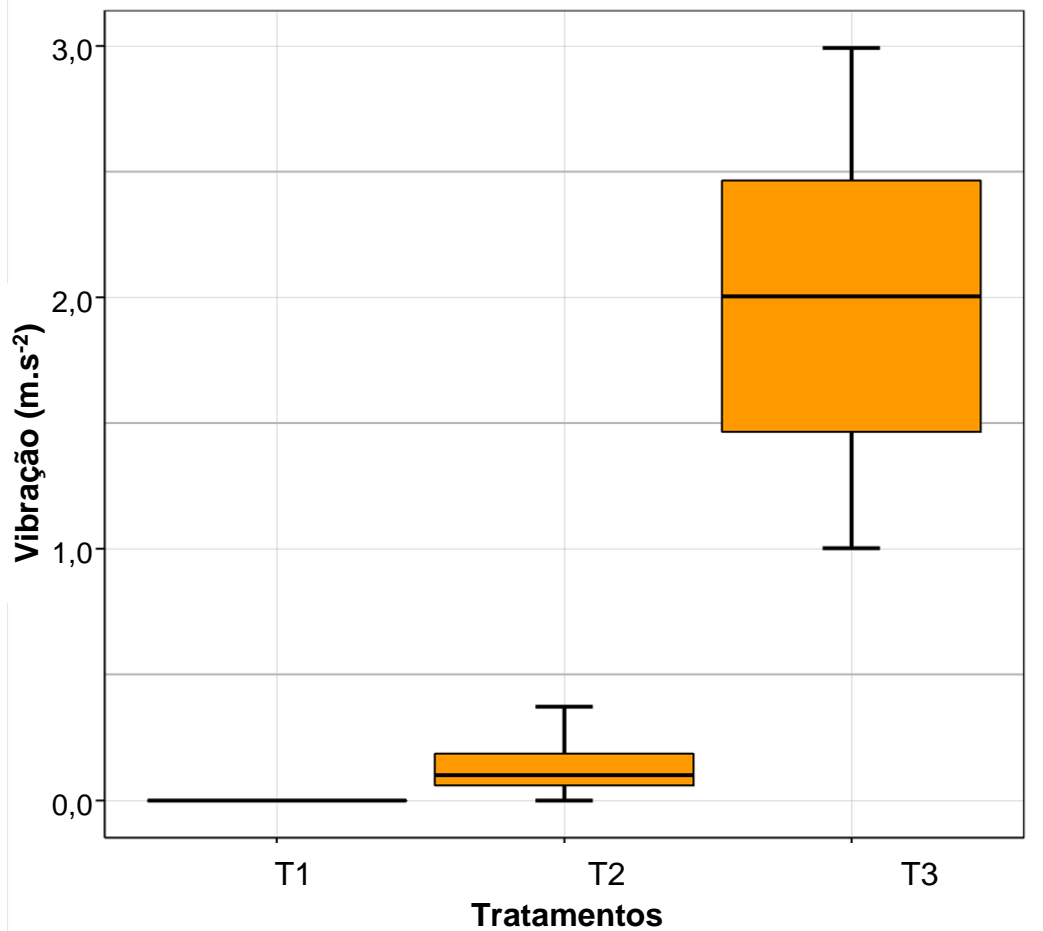
Tabela 15 - Médias (desvio padrão entre parênteses) da vibração (m s^{-2}) no Skidder em função dos tratamentos

	T1	T2	T3
Vibração (m s^{-2})	0,0 a (0,0)	0,1 b (0,07)	2,0 c (0,57)

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,01$)

Foi possível distinguir estatisticamente os três tratamentos, a máquina gerou mais vibração quando em operação. Já com a máquina estática, em baixa rotação, não houve geração de vibração.

Nas Figuras 19 e 20 é possível verificar o comportamento da vibração gerada nos tratamentos.

Figura 19 - Níveis de vibração do Skidder nos tratamentos**Figura 20** - Boxplot dos níveis de vibração do Skidder nos tratamentos

Almeida et al. (2015) avaliando um Skidder em operação obteve como resultado uma vibração de $1,95 \text{ m s}^{-2}$, valor semelhante ao encontrado nesse trabalho.

Ao estudar vibrações oriundas de um Skidder compatível com o deste trabalho, Oliveira et al. (2018) encontraram um valor médio de vibração inferior ($1,62 \text{ m s}^{-2}$), pois no estudo citado as condições de terreno eram um pouco melhores, gerando menos vibração.

Analisando tratores agrícolas cabinados parados, Doimo (2016) encontrou valores semelhantes ao Skidder em baixa rotação e rotação de trabalho.

Uma possível medida a ser tomada, visando a diminuição da vibração, pode ser a redução da pressão dos pneus (SHERWIN et al., 2007) ou até mesmo estudar uma diminuição da velocidade de operação (Santos et al., 2014), medidas estas que se mostraram eficazes no combate a vibração.

5.2.3. Garra Traçadora

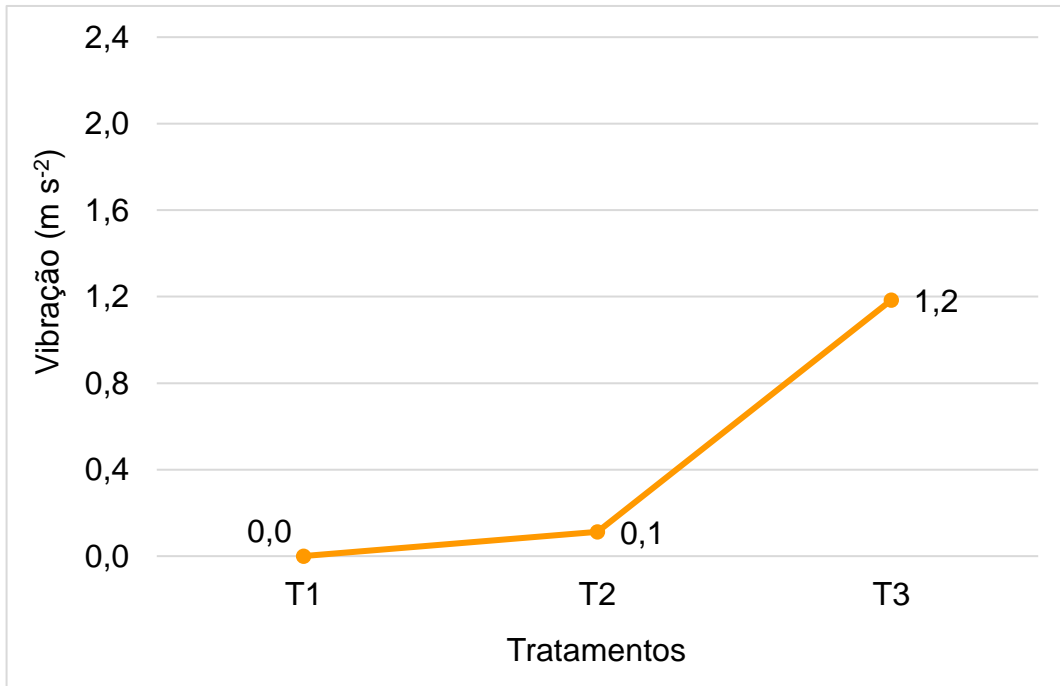
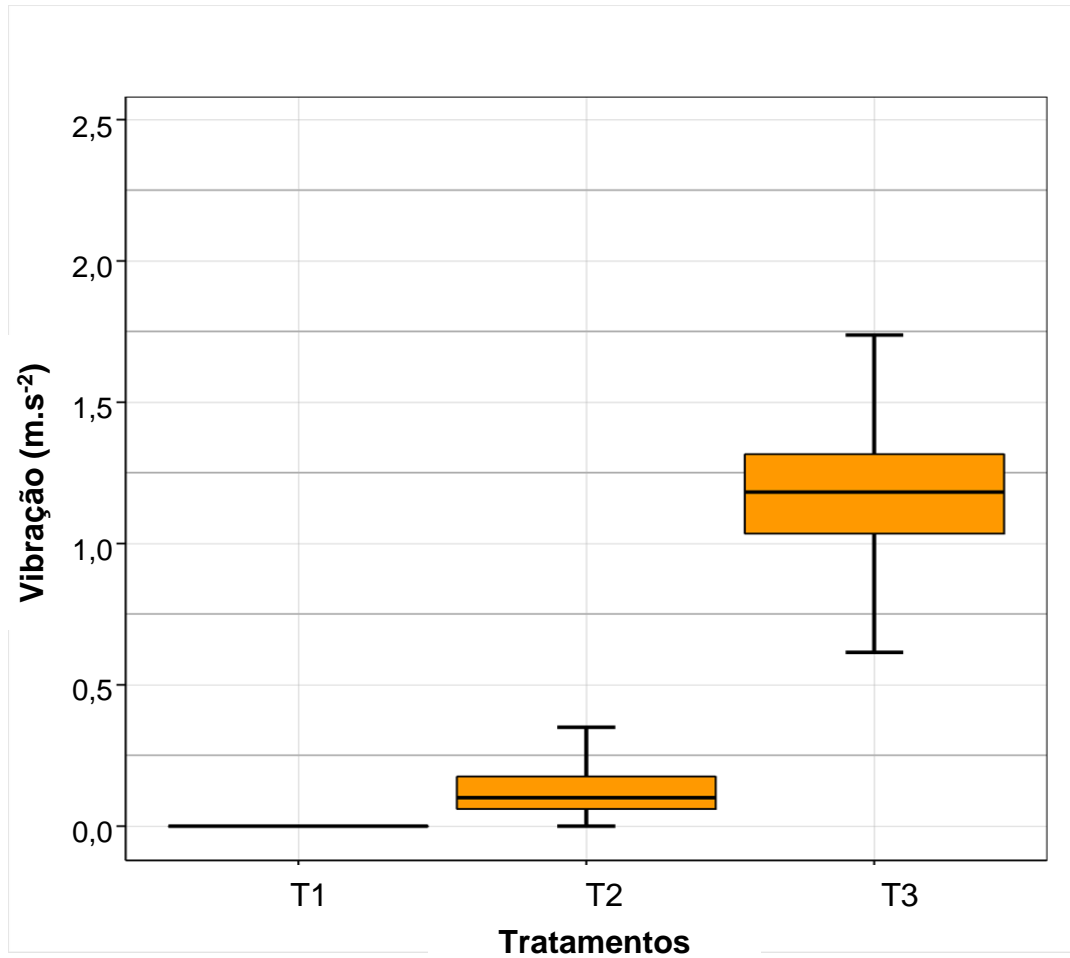
As vibrações médias da Garra Traçadora nos tratamentos estão descritas na Tabela 16.

Tabela 16 - Médias (desvio padrão entre parênteses) da vibração (m s^{-2}) na Garra Traçadora em função dos tratamentos

	T1	T2	T3
Vibração (m s^{-2})	0,0 a (0,0)	0,1 b (0,07)	1,2 c (0,21)

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,01$)

A Garra Traçadora também apresentou ausência de vibração com a máquina estática em baixa rotação, havendo um pequeno incremento juntamente com o aumento da rotação do motor e posteriormente com a máquina em operação ocorreu a maior geração de vibração. Essa curva de incremento é observada nas figuras 21 e 22.

Figura 21 - Níveis de vibração da Garra Traçadora nos tratamentos**Figura 22** - Boxplot dos níveis de vibração da Garra Traçadora nos tratamentos

Avaliando uma Garra Traçadora em operação, Almeida et al. (2015) obteve como resultado uma vibração de $0,99 \text{ m s}^{-2}$, valor inferior ao achado nesse trabalho.

Souza (2015) avaliando uma escavadora hidráulica, composta pela mesma máquina base da Garra Traçadora utilizada nesse trabalho encontrou um valor médio de vibração correspondente a $0,009 \text{ m s}^{-2}$, valor abaixo do encontrado. Isso se deve ao trabalho executado pela escavadeira ser menos pesado do o da Garra e também pela a homogeneidade do solo em que a máquina estava inserida (terreno “liso” e de areia).

As três as máquinas analisadas estavam além dos parâmetros recomendados pelas normas ISO 2631 (1997). A percepção de conforto para os ensaios realizados ficou entre “desconfortável” e “muito desconfortável”. Sendo necessárias adoções imediatas de medidas corretivas para amenizar as vibrações à que os operadores estão expostos.

Nota-se que em relação a vibração, o que está causando esse nível elevado é a própria operação da máquina. O tráfego em terrenos acidentados, os movimentos das partes moveis das máquinas, os discos e serras em operação, tudo isso influencia na geração de vibração. Portanto é necessário avaliar de maneira minuciosa os projetos de criação das máquinas para que alguma ação seja tomada para diminuir o problema.

6 CONCLUSÕES

O nível de pressão sonora gerada pelas três máquinas foi influenciado pela rotação do motor e pelo fato de estar em operação. O aumento do ruído foi diretamente proporcional ao aumento da rotação do motor e principalmente com a máquina em operação.

Ao comparar os níveis de ruído gerado pelas máquinas avaliadas com o que define a NR 15 pode-se perceber que todas as máquinas emitem ruídos inferiores ao recomendado, permitindo uma exposição diária de oito horas.

Apesar do nível de ruído emitido estar dentro do permitido pela norma, ainda se recomenda o uso de protetores auriculares, para eliminar qualquer risco do surgimento de problemas auditivos ao longo do tempo.

Também é possível concluir que o Skidder é a máquina mais ruidosa do sistema de colheita florestal estudado.

A vibração gerada pelas máquinas do sistema avaliado foi diretamente influenciada pela rotação do motor e ainda mais quando a máquina está em operação.

Caracterizando o nível de desconforto gerado pela vibração, com a máquina em operação, verificou-se que as três as máquinas analisadas estavam além dos parâmetros recomendados pelas normas ISO 2631, gerando um nível de desconforto bastante acentuado.

Também é possível constatar que são necessárias adoções imediatas de medidas corretivas nas máquinas analisadas para amenizar as vibrações geradas.

Assim como na análise de ruído o Skidder também é a máquina que mais gera vibrações. Portanto é a máquina do sistema que mais requer atenção em relação à saúde do trabalhador.

REFERÊNCIAS

- ABRAHAO, R. F.; TERESO, M. J. A. Ergonomia e agricultura. (S.1: s.n.), 2004. Disponível em: <http://www.feagri.unicamp.br/unicamp/Ergonomia_e_Agricultura.pdf>. Acesso em: 12 janeiro. 2018.
- 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, v. 21, n. 1, p. 1-8, 2015.
- AMERICAN CONFERENCE OF GOVERNMENTAL INDUSTRIAL HYGIENISTS – ACGIH. Limites de Exposição Ocupacional (TLVs) para Substâncias Químicas e Agentes Físicos & Índice Biológico de Exposição (BELs). ABHO.São Paulo. 2007. 260 p.
- ARCE, J. E.; MACDONAGH P.; FRIEDL R. A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. Revista Árvore, v.28, n. 2, p. 383-391, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR-9.999 – Medição do nível de ruído, no posto de operação, de tratores e máquinas agrícolas. ABNT. 1987a. 12 p.
- BACK, N. Metodologia de projetos de produtos industriais. Rio de Janeiro: Guanabara, 1983. 389 p.
- BRASIL, Portaria MTB n. 3.214, de 08 de junho de 1978. Aprova as Normas Regulamentadoras – NR – do Capítulo V, Título II, da Consolidação das Leis do Trabalho, relativas à Segurança e Medicina do Trabalho. Disponível em <<http://www3.dataprev.gov.br/SISLEX/paginas/63/mte/1978/3214.htm>>. Acesso em: 17 de março de 2018.
- BRITO, A. B. Avaliação e redesenho da cabine do “Feller-buncher” com base em fatores ergonômicos. 2007. 151 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.
- BURMAN, L.; LÖFGREN, B. - Human-Machine Interaction Improvements of Forest Machines. Skogforsk, The Forestry Research Institute of Sweden - Uppsala Science Park, S- 751 83; 2007; Uppsala, Sweden. Disponível em: <<http://www.skogforsk.se/en/>>. Acesso em: 15 de maio de 2018.
- CARVALHO, R. M. M. A.; SOARES, T. S.; VALVERDE S. R. Caracterização do setor florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 105-118, 2005.
- COUTO, H. A. Ergonomia aplicada ao trabalho - o manual técnico da máquina humana. Belo Horizonte: Ergo Editora, 1995, v. 1. 353 p.

- COUTO, H. A. Ergonomia aplicada ao trabalho: o manual técnico da máquina humana. Belo Horizonte: Ergo, 1998. 353 p.
- CUNHA, I. A.; GIAMPAOLI, E. NHO 09: avaliação da exposição ocupacional a vibrações de corpo inteiro. São Paulo: Fundacentro, 2013.
- CUNHA, J. P. A. R.; DUARTE, M. A. V.; RODRIGUES, J. C. Avaliação dos níveis de vibração e ruído emitidos por um trator agrícola em preparo do solo. Revista: Pesq. Agropec. Trop., Goiânia, v. 39, n. 4, p. 348-355, out/dez. 2009.
- DOIMO, L. S. Avaliação da vibração ocupacional no posto operacional de tratores agrícolas estáticos utilizando-se duas rotações angulares. 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu/SP, 2016.
- DUL, J.; WEERDMEESTER, B. Ergonomia Prática. 2. ed. Sao Paulo: Edgard Blucher, 2004. 137 p.
- FAO. Planificación de carreteras forestales y sistemas de aprovechamiento. Vol 2, Roma: [s.n.], 1978. 171 p. (Montens, n. 2).
- FERNANDES, H. C.; BRITO, A. B.; RINALDI, P. C. N.; GONÇALVES, W. S.; JÚNIOR, M. R. F. Avaliação dos níveis de ruído emitidos por diferentes modelos de feller-bunchers. Engenharia na agricultura, viçosa - MG, V.19 N.4, p. 298-303, JULHO/ AGOSTO 2011.
- FIEDLER, N. C.; et al. Avaliação de riscos de acidentes em atividades de poda de árvores na arborização urbana do Distrito Federal. Revista Árvore, v.30, n.2, p. 223-233, 2006.
- FIEDLER, N.C.; ROCHA, E.B.; LOPES, E.S. Análise da produtividade de um sistema de colheita de árvores inteiras no norte do estado de Goiás. Floresta, Curitiba, v.38, n.4, p. 577-586, 2008
- 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.
- FRANCHINI, D. Análise do nível de vibrações verticais no assento de um trator agrícola. 2007. 138 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.
- FREITAS, K. E. Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada. 27 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2005.
- FUNDAÇÃO JORGE DUPRAT FIGUEIREDO, DE SEGURANÇA E MEDICINA DO TRABALHO – FUNDACENTRO. Norma de Higiene Ocupacional 01: procedimento técnico para a avaliação da exposição ocupacional ao ruído contínuo ou intermitente e impacto. FUNDACENTRO. 2001.40 p.

HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE. Whole-body vibration and shock: a literature review. Stoneleigh, 2001. 99p. Disponível em:
<<http://www.hse.gov.uk/agriculture/index.htm>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2017.

IBÁ - INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Disponível em
<http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2018.pdf> Acesso em: 12 de janeiro de 2018

IEA – International Ergonomics Association. Disponível em
<www.iea.cc/whats/index.html> Acesso em: 28 de Maio de 2018.

IIDA, I. Ergonomia: projeto e produção. 2 ed. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 2005. 614p.

IIDA, I. Ergonomia: projeto e produção. 9ª reimpressão. São Paulo: Edgard Blücher, 2003. 465p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 2631: “Guide for evaluation of human exposure to whole-body vibration”. Geneva, Switzerland: International Standard, 1978. 18 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration. Genève: 1985. ISO2631/1.

KROEMER, K. H. E.; GRANDJEAN, E. Manual de Ergonomia: Adaptando o Trabalho ao Homem. 5ª Ed. Artmed Editora. Porto Alegre. 2005. 327 p.

LANÇAS, K. P. Elementos básicos para adequação de conjuntos mecanizados. In: MONTEIRO, L. A.; SILVA, P. R. A. Operação com tratores agrícolas. Botucatu: Edição dos Autores, 2009. p. 59-74.

LAVILLE, A. Ergonomia. São Paulo: EDUSP, 1977. 101p.

LIMA, C. M. Avaliação dos fatores ergonômicos e ambientais em uma unidade de produção de carvão vegetal em Vazante, MG. 100 f. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2013.

LIMA, J.S.S.; LEITE, A.M.P. Mecanização. In. MACHADO, C.C.(Ed). Colheita florestal. 2 ed. Viçosa. UFV, 2014. Cap.2, p.46-73.

LOPES, S.E. Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal. 2007, 144p. Tese (Programa em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007.

LOPES, S.E.; FERNANDES H. C.; SANTOS, N. T.; RINALDI, P. C. N. Avaliação técnica e econômica de uma garra traçadora operando em diferentes produtividades. Scientia Forestalis. Piracicaba, v.36, n.79, p.215-222, set.,2008

MACHADO, C. C.; LOPES, E. S. Planejamento. In: Machado, C. C. (Org.). Colheita florestal. Viçosa, MG: UFV, Imprensa Universitária, 2014. 468p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E.S. Planejamento. In. MACHADO, C.C (ed), Colheita florestal. Viçosa, MG. UFV, Imprensa Universitária, 2002. 468 p.

MACHADO, C.C. et al. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In. MACHADO, C.C. (Ed). Colheita florestal. 3 ed. Viçosa. UFV, 2014. cap. 1, p.15-45.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, C,C (Ed). Colheita florestal. Viçosa: UFV, 2002, Imprensa Universitária, p. 145-167.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In: MACHADO, C.C (Ed). Colheita Florestal 2 ed.Viçosa: UFV, 2008, Cap: 6 p.161-184.

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R. Evolução dos sistemas de colheita de Pinus na região sul do Brasil. Curitiba, PR: FUPEF, 1998. 138 p.

MANSFIELD, N. J. Human response to vibrations. London: CRC Press, 2005. 227 p.

MENEZES, J. S. R., PAULINO, N. J. A. Efeitos do Ruído no Organismo: Manual de Avaliação e Controle do Ruído. 3ª Ed. LTr. p. 62-72. São Paulo. 2004.

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, p. 664-667, dez. 2007. Disponível em<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S141543662007000600017&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 15 abril de 2018.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Brasil com Florestas. Oportunidades para o desenvolvimento de uma economia florestal e a reestruturação necessária do setor. Serviço Florestal Brasileiro. Brasília, 2012.

NORMA REGULAMENTADORA. NR 15 – Atividades e operações insalubres. Segurança e Medicina do Trabalho. Lei 6.514 de 22 de dezembro de 1977. São Paulo, 2002.

NORONHA, E.H.; TRAVAGLIA FILHO, U.J.E.; GARAVELLI, S.L. Quantificação dos níveis de ruídos num estande de tiros da PM do Distrito Federal [periódico on-line]. Centro de Ciências de Educação e Humanidades – CCEH. Universidade Católica de Brasília, jun 2005; vol. I; nº 3.

OLIVEIRA, F. M.; LOPES, E. S.; MARTINS, A. B. Avaliação da vibração de corpo inteiro no assento de um skidder em operação diurna e noturna. In: ENCONTRO SOBRE MECANIZAÇÃO, COLHEITA E TRANSPORTE FLORESTAL, 2., 2018, Belém. Anais... Belém: EDUFRA, 2018. p. 20-21.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DE SAÚDE – OPAS. Doenças relacionadas ao trabalho: manual de procedimentos para o sistema de saúde. MS. Brasília. 2001. 580 p.

PAINI, A. C. Ergonomia do posto de trabalho em máquinas de colheita de madeira. 2016. 67 f. (Dissertação Mestrado em Ciências Florestais), UNICENTRO, Irati, PR, 2016.

RAO, S. S. Vibrações mecânicas. 4.ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.424p.

RINALDI, P. C. N.; FERNANDES, H. C.; SILVEIRA, J. C. M.; JÚNIOR, R. G. M.; MINETTI, L. J. Características de segurança e níveis de ruído em tratores agrícolas. Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v.16, n.2, 215-224, 2008.

SALIBA, T. M. Manual de Avaliação e Controle do Ruído. 3ª Ed. LTr. São Paulo. 2004. 110 p.

SALIBA, T. M. Manual Prático de Avaliação e Controle de Vibração – PPRA. São Paulo. LTr. 2009. 101p.

SALMERON, A. A mecanização da exploração florestal. Piracicaba: IPEF, 1980. (Circular Técnico,88).

SANT'ANNA, C.M. Corte. In. MACHADO, C.C. Colheita Florestal. Viçosa, MG. Universidade Federal de Viçosa, Imprensa Universitária, 2014. p.74-105.

SANTOS, L. N.; FERNANDES, H. C.; SOUZA, A. P.; FURTADO, M. R. J.; SILVA, R. M. 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.

SEIXAS, F.; CASTRO, G.P. Extração. In. MACHADO, C.C (ed), Colheita Florestal. 3 ed. Viçosa, MG. UFV, 2014. cap.4, p.106-161.

SEMEQ (Limeira - SP). Análise de vibração. 2013. Disponível em: <http://www.semeq.com.br/site/analise-de-vibracao/?gclid=CjwKEAjwiqoBRC9gvHCsvDdn2cSJACV3DFROmd_rF9H>. Acesso em: 22 outubro de 2017.

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, 2007.

SILVA, C.B.; VOLPATO, C. E. S.; ANDRADE, L. A. B.; BARBOSA, J. A. Avaliação ergonômica de uma colhedora de cana-de-açúcar. Ciência e Agrotecnologia, v.35, n.1, p.179-185, jan/fev. 2011.

SILVA, E. N.; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; SOUZA, A. P.; FERNANDES, H. C.; SILVA, M. L.; JACOVINE, L. A. Avaliação técnica e econômica do corte mecanizado de pinus sp. com harvester. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.34, n.4, p.745-753, 2010.

SILVA, J. R.; FENNER, P. T.; CAETANO, A. Avaliação do desempenho operacional de trator florestal Feller-buncher. Revista de Ciência Agroveterinária, v.6, n.1, p.29-34. 2007.

SIMONE, M. et al. El tractor agrícola: fundamentos para su selección y uso. Mendoza: INTA, 2006.

SOEIRO, N.S. Vibrações e o Corpo Humano: uma avaliação ocupacional. I Workshop de Vibrações e Acústica. Tucuruí, Pa., ago. 2011. 10 p.

SOUZA, A. et al. Perspectivas na Área de Colheita e Transporte Florestal. Revista Madeira. Curitiba, n. 51, p. 52-62, 2000.

SOUZA, F. R. Avaliação da exposição à vibração e do espaço envolvente do operador de escavadeira hidráulica com enfoque na ergonomia e segurança, Recife, 2015. Dissertação (Mestrado em Ergonomia) – Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

STÖHR, G. W. D. Metodologia do custo hora para máquinas florestais. In: Curso de Atualização sobre Sistemas de exploração e transporte florestal, 3., 1981, (Curitiba). Anais... Curitiba: FUPEF, 1981.p. 33-44.

TIBIRIÇÁ, A. C. G. Janelas: análise sistêmica para desempenho ambiental. Florianópolis: UFSC, 1997. 2 volumes. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

TOSIN, R. C. Avaliação do ruído e da vibração no posto de trabalho em dois tratores agrícolas. 2009. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Campus de Botucatu, 2009.

VIDAL, M. C. (Org.). Introdução à ergonomia. Rio de Janeiro: Coserg, 1998. UFRJ.

VITÓRIA, E.L. Avaliação dos níveis de ruído emitido por tratores em diferentes operações agrícolas. Viçosa: UFV, 2000. 76p. (Dissertação de Mestrado).

WALDRIGUES, O. M. P. Produtividade no Setor Florestal. UFPR, Setor de Ciências Agrárias, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Disciplina de Ciência do Trabalho Florestal. Curitiba, 1983. 145 p.

YONEZAWA, J. T. A evolução da colheita mecanizada. Revista Opiniões. jun.- ago. p. 41. 2010.