

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**PRODUTIVIDADE E CUSTOS DO CORTE DE EUCALIPTO COM FELLER-
BUNCHER EM FUNÇÃO DE ANGULAÇÕES DE DERRUBADA**

JEAN GUEIROS SOARES

RECIFE

2018

JEAN GUEIROS SOARES

**PRODUTIVIDADE E CUSTOS DO CORTE DE EUCALIPTO COM FELLER-
BUNCHER EM FUNÇÃO DE ANGULAÇÕES DE DERRUBADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal Rural de Pernambuco como parte das exigências para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof^o Dr^o Rodrigo Eiji Hakamada

RECIFE

2018

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

S676p Soares, Jean Gueiros.
Produtividade e custos do corte de eucalipto com Feller-Buncher
em função de angulações de derrubada / Jean Gueiros Soares. -
Recife, 2018.
39 f.: il.

Orientador(a): Rodrigo Eiji Hakamada.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade
Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal,
Recife, BR-PE, 2019.

Inclui referências.

1. Colheita florestal 2. Mecanização florestal 3. Full tree
I. Hakamada, Rodrigo Eiji, orient. II. Título.

CDD 634.9

JEAN GUEIROS SOARES

**PRODUTIVIDADE E CUSTOS DO CORTE DE EUCALIPTO COM FELLER-
BUNCHER EM FUNÇÃO DE ANGULAÇÕES DE DERRUBADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao curso de Engenharia Florestal da
Universidade Federal Rural de Pernambuco
como parte das exigências para obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Aprovado em _____

BANCA EXAMINADORA

Profº Drº Rodrigo Eiji Hakamada (DCFL/UFRPE)

Orientador

Profº Drº Rafael Leite Braz (DCFL/UFRPE)

1º Examinador

Profª Drª Elaine Cristina Sampaio de Freitas (DCFL/UFRPE)

2ª Examinadora

RESUMO

O presente trabalho objetivou realizar a análise técnica e econômica da operação de derrubada com *feller buncher* em três diferentes subsistemas num plantio de eucalipto através de um estudo de tempos e movimentos e cálculo de custos operacionais e de produção pelo método contábil. O estudo foi desenvolvido em uma área de colheita florestal inserida na fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin S.A., localizada no Município de Telêmaco Borba, região dos Campos Gerais do estado do Paraná. Foram avaliados os subsistemas 17° (T1), 45° (T2) e 90° (T3), diferindo um do outro pelo ângulo em que as pilhas de madeira recém cortadas pelo equipamento são dispostas no solo para posterior arraste. O equipamento utilizado para a realização das análises foi um *feller buncher* da marca Tigercat, modelo L870 C, com 3679 horas trabalhadas, equipado com motor Cummins QSL9 Tier III (diesel) de 224 kW/300 hp de potência nominal a 1800 rpm e cabeçote de corte Tigercat modelo ST5702. Os resultados mostraram que o maior elemento do ciclo operacional encontrado no estudo foi o corte/acúmulo, que ocupou cerca de 70% do tempo de trabalho efetivo do equipamento. A disponibilidade mecânica, grau de utilização e eficiência operacional encontradas foram de 93, 85 e 77 % respectivamente. A produtividade efetiva foi de 138,68, 138,91 e 149,00 m³ he⁻¹ respectivamente nos tratamentos 1 (17°), 2 (45°) e 3 (90°). O consumo de combustível do equipamento foi de 44,78 L he⁻¹, alcançando um consumo específico no valor de 169,92 g kw⁻¹ he⁻¹ e um rendimento energético de 1,22, 1,22 e 1,14 g kw⁻¹ m³, respectivamente para os subsistemas 17°, 45° e 90°. O custo operacional do *feller buncher* foi de R\$ 371,68 por hora efetiva de trabalho, perfazendo, nas condições avaliadas, um custo de produção de R\$ 2,68, R\$ 2,68 e R\$ 2,49 por metro cúbico de madeira para os subsistemas 17°, 45° e 90° respectivamente. O subsistema de derrubada com ângulo de 90° mostrou-se cerca de 7% mais produtivo, fazendo com que o custo de produção seja mais barato nesse tratamento, reforçando que, caso seja viável, é importante que esse subsistema seja utilizado.

Palavras-chave: colheita florestal, mecanização florestal, full tree.

ABSTRACT

The present work aimed to perform the technical and economic analysis of the feller buncher operation in three different subsystems in a eucalyptus plantation through a study of time and motion and calculation of operating and production costs using the accounting method. The study was carried out in a forest harvesting area at Monte Alegre farm that belongs to the company Klabin S.A., and is located in Telêmaco Borba, state of Paraná. The subsystems 17 ° (T1), 45 ° (T2) and 90 ° (T3) were evaluated, differing one from another by the angle at which the wood bunchers newly cut by the equipment are arranged in the soil for later skidder operation. The equipment used for the analysis was a feller buncher of the brand Tigercat, model L870 C, with 3679 hours worked, equipped with engine Cummins QSL9 Tier III (diesel) of 224 kW/300 hp of nominal power at 1800 rpm and head of Tigercat cutter model ST5702. The results showed that the greatest element of the operational cycle found in the study was the cut/accumulation, which occupied about 70% of the effective working time of the equipment. The mechanical availability, degree of utilization and operational efficiency found were 93,85 and 77% respectively. The effective yield was 138.68, 138.91 and 149.00 m³ he⁻¹ respectively in treatments 1 (17 °), 2 (45 °) and 3 (90 °). The fuel consumption of the equipment was 44.78 L he⁻¹, reaching a specific consumption of 169.92 g kw⁻¹ he⁻¹ and an energy yield of 1.22, 1.22 and 1.14 g kw⁻¹ m³ respectively for the 17 °, 45 ° and 90 ° subsystems. The operating cost of the feller buncher was R\$ 371.68 per effective hour of work, making, under the conditions evaluated, a cost of production of R\$ 2.68, R\$ 2.68 and R\$ 2.49 per cubic meter for the 17 °, 45 ° and 90 ° subsystems respectively. The 90 ° angle tipping subsystem was about 7% more productive, making the cost of production cheaper in this treatment, reinforcing that, if feasible, it is important that this subsystem is used.

Key words: harvesting, forest mechanization, full tree.

SUMÁRIO

| | | |
|--------|---|----|
| 1. | INTRODUÇÃO | 10 |
| 2. | OBJETIVOS..... | 12 |
| 2.1. | Objetivo geral..... | 12 |
| 2.2. | Objetivos específicos..... | 12 |
| 3. | REFERENCIAL TEÓRICO..... | 13 |
| 3.1. | Mercado brasileiro de florestas plantadas..... | 13 |
| 3.2. | Colheita Florestal | 14 |
| 3.3. | Sistemas de colheita | 15 |
| 3.4. | <i>FellerBuncher</i> | 16 |
| 3.5. | Subsistemas (ângulos de derrubada) | 16 |
| 3.6. | Custos na colheita florestal | 17 |
| 4. | METODOLOGIA..... | 17 |
| 4.1. | Área de estudo..... | 17 |
| 4.2. | Subsistemas de derrubada..... | 18 |
| 4.3. | Equipamento utilizado | 19 |
| 4.4. | Coleta de dados (Definição da intensidade amostral) | 20 |
| 4.5. | Análise operacional | 21 |
| 4.5.1. | Disponibilidade mecânica (DM) | 21 |
| 4.5.2. | Grau de utilização (GU)..... | 22 |
| 4.5.3. | Eficiência operacional (EOP)..... | 22 |
| 4.5.4. | Produtividade Efetiva..... | 22 |
| 4.5.5. | Consumo específico de combustível..... | 22 |
| 4.5.6. | Rendimento energético | 23 |
| 4.6. | Análise econômica | 23 |
| 4.6.1. | Custos operacionais | 23 |
| 4.7. | Custos de produção | 26 |
| 4.8. | Análises estatísticas | 26 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 27 |
| 5.1. | Análise Operacional | 27 |
| 5.1.1. | Distribuição dos elementos do ciclo operacional | 27 |

| | | |
|--------|---|----|
| 5.1.2. | Disponibilidade mecânica, grau de utilização e eficiência operacional . | 29 |
| 5.1.3. | Produtividade efetiva | 31 |
| 5.1.4. | Consumo específico de combustível e rendimento energético | 34 |
| 5.2. | Custos operacionais e de produção | 34 |
| 6. | CONCLUSÕES | 36 |
| 7. | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 38 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Esquema representativo de colheita no subsistema com ângulos de 17°..... | 18 |
| Figura 2. Esquema representativo de colheita no subsistema com ângulos de 45°..... | 19 |
| Figura 3. Esquema representativo de colheita no subsistema com ângulos de 45°..... | 19 |
| Figura 4. Modelo de <i>Feller Buncher</i> L870C/LX870C e características..... | 20 |
| Figura 5. Modelo de cabeçote ST5702 e características..... | 20 |
| Figura 6. Porcentagem do tempo total contabilizado nas etapas que compuseram o tratamento T1: subsistema 17° (A). Porcentagem do tempo total contabilizado nas etapas que compuseram o tratamento T2: subsistema 45° (B). Porcentagem do tempo total contabilizado nas etapas que compuseram o subsistema 90° (C) | 28 |
| Figura 7. Capacidade de acúmulo de árvore para os três subsistemas estudados (17°, 45° e 90°)..... | 29 |
| Figura 8. Motivos de paradas mecânicas observadas nos subsistemas (17°, 45° e 90°) para o <i>Feller Buncher</i> L870C/LX870C..... | 30 |
| Figura 9. Motivos de paradas operacionais observadas para os subsistemas (17°, 45° e 90°) para o <i>feller buncher</i> L870C/LX870C..... | 30 |
| Figura 10. Valores de disponibilidade mecânica, grau de utilização e eficiência operacional do equipamento em porcentagem..... | 31 |
| Figura 11. Composição dos custos (A). Custo fixo (B). Custo variável (C). Custo operacional total..... | 35 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Descrição do de cada fase do ciclo operacional do <i>feller buncher</i> | 21 |
| Tabela2.Tabela da análise de variância para os tratamentos T1, T2, T3..... | 31 |
| Tabela3.Análise para o teste de Tukey a 5% para os tratamentos, T, T2 e T3..... | 32 |
| Tabela 4. Valores de produtividade, custo operacional, custo de produção (por m ³ e t) para a utilização do <i>feller buncher</i> L870C/LX870C B os tratamentos T1, T2 e T3..... | 36 |

1. INTRODUÇÃO

A implantação dos primeiros reflorestamentos no Brasil data da década de 1930, com a implantação em escala comercial de florestas de eucalipto para o fornecimento de lenha, dormentes, postes e mourões à extinta Companhia Paulista de Estradas de Ferro. Até a década de 1960 a participação da silvicultura ainda era pouco expressiva na economia do país, porém com o aumento da demanda por produtos florestais surgiu a necessidade de tecnologia e conhecimento no setor, sendo fundadas as primeiras escolas de engenharia florestal em Viçosa e Curitiba. Até que, em 1966 foi criado pelo governo federal o Programa de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento (PIFR), programa que abria mão de parte do recurso do imposto de renda de pessoas físicas e jurídicas para o investimento em reflorestamentos. Esse programa, mesmo sofrendo muitas críticas, principalmente no que diz respeito à forma de aplicação do investimento, quantidade efetiva e qualidade dos plantios, serviu para elevar de pouco mais de 400 mil hectares para quase 6 milhões de hectares a área total de florestas de rápido crescimento implantadas até o final da década de 1980, período em que o programa foi extinto (FOELKEL, 2005).

A partir da década de 1990, mesmo após a extinção do PIFR, o setor florestal expandiu consideravelmente, por conta sobretudo da melhoria na economia brasileira, e grande demanda por produtos madeireiros, principalmente celulose, papel e painéis de madeira, levando o Brasil a estar entre os 10 países com maior área de florestas plantadas do mundo, cerca de 7,84 milhões de hectares em 2016, e com uma indústria de produtos florestais que ocupa 4% do PIB industrial nacional. Nessa fase de expansão, as indústrias passaram a investir na sua própria base florestal, em busca principalmente da autossuficiência de matéria prima. Diante deste novo cenário, a necessidade de melhorias no processo produtivo de madeira de reflorestamento (Alto custo de mão de obra, trabalho pouco ergonômico, pouca eficiência e alto custo de produção) aliado, principalmente, a abertura das importações em 1994, tornou a mecanização dos processos uma realidade (ANTONANGELO e BACHA, 1998; IBA, 2017).

Dentre os processos de produção da madeira, a colheita está entre os mais onerosos, sendo um dos primeiros a sofrer intenso processo de mecanização. Antes da segunda grande expansão do setor florestal, entre as décadas de 1970 e 1990, a indústria nacional iniciou a produção de máquinas, essencialmente tratores agrícolas com implementos adaptados ao trabalho florestal, como *skidders*, autocarregáveis e posteriormente *feller bunchers* montados sobre triciclos e grades desganhadoras. Já a partir da década de 1990, com a segunda fase de

expansão do setor, iniciou-se a importação de máquinas mais pesadas e desenvolvidas especialmente para a colheita florestal. Com isso, foram obtidos ganhos consideráveis em custo e quantidade de mão de obra utilizada, segurança e ergonomia na operação e alcançando, por conseguinte, melhores resultados em produtividade e custo de produção, partindo de horas para poucos minutos por metro cúbico (ARCE et al., 2004).

No contexto da colheita florestal, os sistemas de colheita proporcionam, por meio de atividades integradas, que ocorra o fluxo de madeira e a utilização dos equipamentos e recursos disponíveis da melhor maneira possível, exercendo grande importância no resultado final da produção. Sendo assim, a tomada de decisão sobre quais sistemas devem ser utilizados para determinada aplicação se torna crítica e deve levar em consideração fatores como: topografia do terreno, volume médio individual (VMI) do povoamento, máquinas e recursos disponíveis e principalmente, o tipo e finalidade da floresta.

Classifica-se os sistemas de colheita de acordo com a forma que a madeira é extraída do local de derrubada, área onde é realizado o processamento e/ou grau de mecanização. Os principais sistemas, de acordo com essas características são: sistema de toras curtas (CTL), onde a madeira é derrubada e processada no mesmo local e carregada para a margem do talhão em toras menores que 6 metros; sistema de toras compridas (*tree-length*), onde a árvore derrubada sofre desgalhamento e destopa no local do corte, sendo levada para a beira do talhão em forma de fuste; sistema de árvores inteiras (*full-tree*), onde a árvore é derrubada, arrastada inteira e processada na beira do talhão; sistema de árvores completas (*whole-tree*), onde a árvore é arrancada com parte do sistema radicial e processada na beira da estrada; e sistema de cavaqueamento (*chipping*), onde a árvore é derrubada e triturada no local, sendo carregada em forma de cavacos (MACHADO, 2008).

Apesar de uma infinidade de máquinas disponíveis e variações dentro dos próprios sistemas, as máquinas de colheita florestal foram inicialmente desenvolvidas para dois sistemas principais: o correspondente aos países escandinavos, voltado para a produção de toras curtas (CTL), que usa o *harvester* para a derrubada e processamento e o *fowarder* para extração; e o correspondente aos países da América do Norte, voltado para a produção de toras longas (*tree-length*) ou árvores inteiras (*full-tree*), onde o *feller buncher* efetua a derrubada e agrupamento das árvores em feixes, para arraste com *skidder* até o local do processamento, que é feito por máquina com cabeçote processador, desgalhador ou apenas traçador (MACHADO, 2008)

No sistema *full-tree*, muito utilizado no Brasil e países da América do Norte, o *feller buncher* é responsável pela primeira e mais crítica operação da colheita, sendo

frequentemente a maior barreira para o cumprimento dos processos seguintes. Da operação do *feller* sairá a árvore inteira empilhada em feixes dentro do talhão que será arrastada pelo *skidder* e posteriormente processada de acordo com o sortimento desejado. No caso da operação de derrubada mostrar-se ineficiente, todas as operações posteriores e consequentemente a produção do sistema serão afetadas negativamente. Dentro do sistema *full-tree*, o ângulo de derrubada das árvores nas pilhas pelo *feller buncher* exerce uma importante influência no aumento da produtividade da operação, participando do planejamento da operação inteira da colheita, podendo ser assim classificado como subsistema de derrubada.

A colheita florestal tem grande impacto no custo de produção da madeira, chegando a representar em torno de 40% do total dos custos da madeira processada no campo em um sistema de alto fuste de Pinus ou eucalipto, sendo cerca de 20% desse custo relacionado diretamente à operação de derrubada com *feller buncher*. Os fatores que mais impactam os custos dessa operação, em linhas gerais, são: manutenção, combustível, lubrificantes, gastos com pessoal, gastos de apoio e estrutura, seguros, taxas e impostos (MACHADO e LOPES, 2000; ARCE et al., 2004).

Nesse sentido, ações de melhoria em produtividade da operação do *feller buncher* têm grande potencial de aumento de rendimento e eficiência de todo o sistema, culminando numa redução nos custos e melhoria do uso dos recursos disponíveis. Desta forma o presente trabalho objetivou avaliar o efeito de três diferentes angulações de derrubada sobre a produtividade da operação de corte com *feller buncher* em um plantio de eucalipto.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito de três diferentes angulações de derrubada sobre a produtividade e custos da operação de corte com *feller buncher* em um plantio de eucalipto.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar a produtividade por hora efetiva de trabalho do equipamento com o auxílio de um estudo de tempos e movimentos;
- Avaliar a dinâmica dos ciclos operacionais do equipamento;
- Determinar o custo efetivo de produção por tonelada de madeira do equipamento pelo método contábil.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Mercado brasileiro de florestas plantadas

O Brasil está entre os 10 primeiros países do mundo com maior área em extensão de florestas plantadas, formada principalmente entre as décadas de 70 e 80. Nesta época ocorreu um grande incentivo econômico governamental para a instalação de maciços florestais, especialmente para plantas do gênero *Eucalyptus*, por meio da dedução do imposto de renda dos investimentos realizados nessa área. Esses abatimentos geraram investimentos na casa dos US\$ 6 bilhões, expandindo a área reflorestada no país para, praticamente, 6,2 milhões de hectares (JUVENAL e MATOS, 2002).

Segundo Machado (2008), o Programa de Incentivos Fiscais ao Reflorestamento (PIFR) possibilitou ao Brasil destacar-se entre os maiores produtores de derivados de madeira do mundo, gerando cerca de 700 mil empregos diretos e 2 milhões indiretos, com plantios espalhados em quase toda totalidade das regiões brasileiras no final da década de 1980. Este período foi marcado por pouca discussão a respeito da produtividade e custos dos plantios, isto porque o PIFR cobria os custos de implantação e manutenção até o quarto ano de idade do povoamento. Somado a este fator, a falta de fiscalização referente a origem e modo de aplicação dos investimentos e a falta de qualidade nos plantios endossaram grandes discussões a respeito da aplicabilidade do recurso neste programa, culminando em seu término no ano de 1988.

Segundo Antonangelo e Bacha (1998), após o final dos incentivos governamentais por meio do PIFR, uma nova fase de expansão do cultivo de florestas plantadas foi iniciada, nessa nova fase, grandes empresas consumidoras de madeira reorganizaram sua infraestrutura de produção florestal, a fim de melhorar os custos e a produtividade, além de passar a investir no fomento de áreas de pequenos produtores. Desta forma, os investimentos passaram a ser próprios ou obtidos por meio de empréstimos, e conseqüentemente surge, neste momento, uma maior preocupação com a qualidade da condução e produção dos reflorestamentos. Aliado ao expressivo aumento da demanda por produtos oriundos de florestas plantadas, esse segundo movimento de expansão do setor, que implicou na necessidade de melhoria de custos, de qualidade e quantidade de produção, impulsionou o aumento da competitividade do setor florestal brasileiro no cenário mundial.

Com dados mais atuais, o relatório anual do IBA (2017) concluiu que o mercado brasileiro de florestas plantadas está entre os principais fabricantes mundiais de produtos madeireiros como celulose, papel e painéis de madeira. Segundo o estudo, o Brasil contava

no final de 2016 com cerca de 7,84 milhões de hectares de reflorestamentos, sendo 5,7 milhões de hectares de eucalipto e 1,6 milhão de hectares de pinus. O maior consumidor dessa madeira é o setor de papel e celulose, que usa 35% dessa madeira para produzir cerca de 19,5 milhões de toneladas de celulose e 10,5 milhões de toneladas de papel por ano. Nesse sentido, o setor florestal brasileiro exerce grande influência no desenvolvimento socioeconômico do país, chegando, ainda segundo o IBA (2017), a alcançar 4% do PIB industrial nacional e contrariando a tendência de mercado de outros setores, está em crescimento e deve continuar.

3.2. Colheita Florestal

Dentro dos processos que envolvem a produção de florestas plantadas, a colheita florestal é uma das etapas mais importantes e onerosas. Segundo Arce et al. (2004), a colheita florestal representa a operação final do processamento da madeira oriunda de plantações florestais antes do beneficiamento e é nessa etapa que é agregado valor a esses produtos, sendo sua aplicação fundamental para estabelecimento em quantidades e qualidades consideráveis.

Na década de 1970, a mecanização ainda esbarrava na baixa remuneração e grande necessidade de mão de obra especializada, o que aumentava os custos de produção. Além disso existia certa dificuldade de obtenção de um maquinário compatível com o tipo de trabalho, o que, obviamente, tornava a colheita manual ou semi-mecanizada muito mais atrativa ao produtor, Machado (2008) afirma que no início das atividades de reflorestamento no Brasil, a colheita era basicamente manual, o que tornava o processo oneroso, perigoso e carente de grande quantidade de mão de obra pouco capacitada. Salmeiron (1980) complementa descrevendo que naquela época, a mecanização florestal no Brasil demonstrava-se precária e dependente de máquinas adaptadas do setor agrícola.

A partir da década de 1990, com a melhora na economia do país, houve uma maior procura por produtos florestais. Isso junto à redução da mão de obra disponível, principalmente nas regiões mais industrializadas, acabou levando o setor a passar por grandes mudanças, acarretando na implementação e modernização da mecanização florestal, o que acabou provocando um aumento na produtividade, redução de custos e melhoria das condições de trabalho (MINNETE et al., 2008; MACHADO, 2008; MOREIRA, 2000).

A partir dos anos 1990, com a abertura das importações, muitas empresas iniciaram mais intensivamente seu processo de mecanização, trazendo máquinas da Europa e Estados Unidos, como *harvesters* e *feller bunchers* para corte e processamento de pinus e eucalipto,

tratores essencialmente florestais, possuindo características e recursos próprios, utilizados para a derrubada, processamento e extração da madeira no campo. Atualmente, diversos tipos dessas máquinas estão disponíveis no mercado, oferecendo diferentes alternativas de uso (ALTOÉ, 2008; MACHADO, 2008).

3.3. Sistemas de colheita

De acordo com Machado (2008), um sistema de colheita florestal é o conjunto de atividades integradas, que permitem o fluxo constante de madeira, evitando-se os gargalos até levar os equipamentos ao seu máximo uso. A FAO (1977) também classifica o sistema de acordo com a forma em que a madeira é deixada para extração, ao local onde é realizado o processamento e por último de acordo com o grau de mecanização.

Os sistemas de colheita florestal são divididos, em sistema de toras curtas (*cut-to-length*), sistema de toras compridas (*tree-length*), sistema de árvores inteiras (*full-tree*), sistema de árvores completas (*whole-tree*) e sistema de cavaqueamento (*Chipping*). No sistema de toras curtas (*cut-to-length* - CTL), todo processamento ocorre no local da derrubada, deixando a madeira processada em pequenas pilhas de toras menores (com menos de 6 metros) prontas para serem extraídas. No sistema de árvores inteiras (*full-tree*), diferentemente do CTL, a árvore é cortada rente ao solo e colocada em pilhas ou *bunchers*, ficando inteira, pronta para ser extraída até a beira da estrada onde será processada em toras maiores e carregada. Já no sistema de árvores completas (*whole-tree*), a árvore é retirada com parte do sistema radicial e levada para processamento na beira da estrada. Por último, no sistema de cavaqueamento (*Chipping*), a árvore é derrubada e triturada no local, sendo o produto final carregado para a indústria ou pátio de estocagem (MACHADO, 2008).

É importante lembrar que as máquinas da colheita florestal foram desenvolvidas baseadas na dinâmica e relevo de outros países, entretanto dois dos sistemas citados são mais utilizados no Brasil: O CTL, oriundo dos países escandinavos, que utiliza os *harvesters* com cabeçote de processamento para a derrubada, desganhamento e traçamento e *forwarders* para a extração, e sistema *Full-tree*, original dos países da América do Norte, caracterizado pelo uso do *fellerbuncher* que executa a derrubada, o *skidder* a extração, e o processador florestal que desgalha e traça, deixando as toras empilhadas e prontas para o carregamento (MACHADO, 2008; ADEBAYO et al., 2006).

3.4. *Feller Buncher*

O primeiro *feller* na América do Norte foi colocado no mercado em 1970 e usava um cabeçote de compressão com espécies de tesouras de dupla ação (tesouras de cisalhamento). Com o tempo foram desenvolvidas outras tecnologias como sabres com correntes, serra ou disco de corte. A máquina base pode estar sobre rodados de pneus ou esteiras e é de grande porte, podendo chegar a 40 t de peso total. São mais robustas do que os harvesters, tendo como únicas funções o corte, derrubada (*feller*) e acúmulo (*feller buncher*). Atualmente o *feller buncher*, que têm a capacidade de acumular árvores em seu cabeçote, é mais utilizado principalmente por sua maior produtividade e eficiência. O cabeçote tem uma área de acúmulo, onde as árvores já cortadas ficam posicionadas até que sejam colocadas na pilha. Para o corte é utilizado um disco rotativo serrilhado, serra ou sabre com corrente posicionados na base do cabeçote. Para o acúmulo são utilizados dois pares de garras, um principal e um de acúmulo, ambos se abrem para o corte da primeira árvore do ciclo, após capturar a primeira, ambas são fechadas e só a garra principal será aberta para a captura da próxima árvore, logo após o corte, a garra principal se fecha, a garra acumuladora abre e fecha para que a nova árvore fique presa e então a garra principal pode abrir novamente para capturar uma nova árvore. Esse ciclo se repete até que a capacidade do cabeçote seja atingida, o que depende do porte das árvores, e então as árvores são colocadas na pilha no sentido que facilite o arraste para o local de processamento da madeira. Diferente do *harvester*, esse equipamento não processa a madeira, deixando a árvore inteira no local para ser posteriormente extraída (MACHADO, 2008; ALTOÉ, 2008; KELLOG e BRINK, 1992; SILVA et al., 2007).

3.5. Subsistemas (ângulos de derrubada)

Dentro do sistema *full-tree*, o ângulo de derrubada das árvores nas pilhas pelo *feller buncher* de acordo com o alinhamento do plantio, pode ser um importante fator para o aumento da produtividade da operação, podendo ser assim classificado como subsistema de derrubada, segundo nascimento (2011), o equipamento, ao chegar ao limite de capacidade do seu cabeçote, irá derrubar as árvores já cortadas em pilhas, com os pés formando um ângulo em relação ao alinhamento do plantio, esse ângulo deverá ser pensado para facilitar a operação de arraste e otimizar o tempo da derrubada. Atualmente os subsistemas mais utilizados na área de estudo são: 17°, 45° e 90°.

3.6. Custos na colheita florestal

A colheita florestal é uma das principais operações envolvidas no processo de produção de madeira, especialmente pelo alto custo despendido nessa etapa. De acordo com Machado e Lopes (2000), os custos conjuntos de colheita e transporte podem facilmente chegar a 50% dos custos totais da madeira colocada na indústria. Tendo em vista essa elevada participação nos custos de produção, Simões et al. (2010) avaliam que esse fator desencadeou um intenso processo de evolução da mecanização na área, despertando um interesse contínuo em melhoria de produtividade e redução de custos de produção.

Segundo Miyata (1980), as avaliações econômicas devem ser executadas de acordo com o custo operacional dos equipamentos. Os componentes desse custo, ainda de acordo com o autor são: valor de aquisição, valor residual, vida útil, taxa de remuneração, seguros e taxas, utilização anual, mão de obra, combustível e manutenção. Simões et al. (2010) avaliaram em seu trabalho que os custos na colheita estão diretamente ligados à produtividade, em ordem inversa, ou seja, quanto maior a produtividade, menor será o custo efetivo gasto na produção.

4. METODOLOGIA

4.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido em uma área de colheita florestal inserido na fazenda Monte Alegre, pertencente à empresa Klabin S.A., localizada no Município de Telêmaco Borba, região dos Campos Gerais do estado do Paraná. As parcelas foram alocadas no talhão G8A da Região Florestal Mirandinha (MA02BMIG8A). O talhão possuía cerca de 40 hectares de área plantada com *E. Grandis* x *E. urophylla*, aqui denominado de *E.urograndis*, de 7 anos de idade, em relevo plano a suave ondulado, em espaçamento 3 x 3 metros, cerca de 1.111 árvores por hectare e volume médio por indivíduo de 0,342 m³, perfazendo cerca de 280 toneladas por hectare, estando localizado próximo às coordenadas 24°22'23.28"S e 50°27'4.09"W.

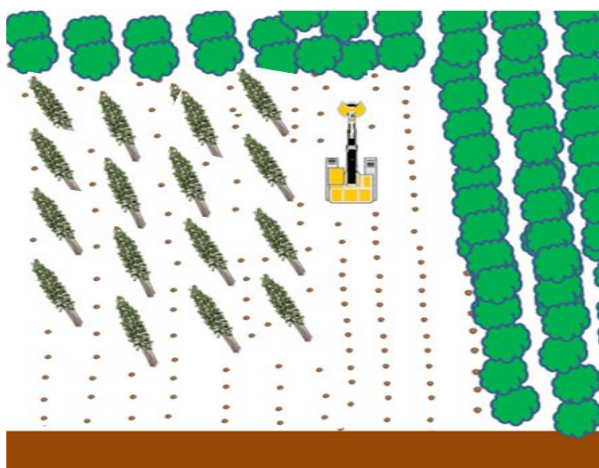
O clima da região é, segundo a classificação de Koppen, do tipo Cfa/Cfb, subtropical úmido transicional para temperado propriamente dito, com temperatura média no mês mais frio inferior à 16°C, ocorrência de geadas e temperatura média no mês mais quente acima dos 22°C, com verões quentes (CAVIGLIONE et al. 2000).

4.2. Subsistemas de derrubada

Dentro do sistema *full-tree*, o ângulo de derrubada das árvores nas pilhas pelo *feller buncher* de acordo com o alinhamento do plantio, pode ser um importante fator para o aumento da produtividade da operação, podendo ser assim classificado como subsistema de derrubada. Atualmente os subsistemas mais utilizados são: 17°, 45° e 90°.

No subsistema com ângulo de 17°, o operador iniciará o trabalho pelo fundo do talhão, posicionando a máquina perpendicular à estrada por onde a madeira irá sair, entre a segunda e terceira linhas, totalizando um eito de quatro linhas de árvores. As árvores já cortadas são colocadas em feixes num ângulo de 17° com o alinhamento do plantio. Após chegar à estrada, a máquina continuará no sentido contrário (estrada/fundo do talhão) (Figura 1).

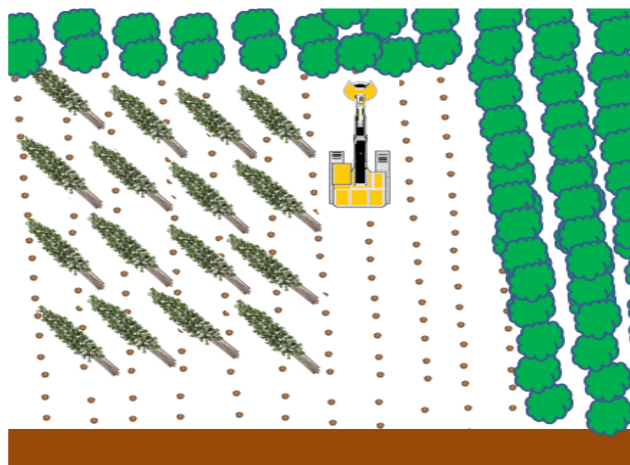
Figura 1. Esquema representativo de colheita no subsistema com ângulos de 17°.



Fonte: o autor (2018).

Semelhante ao subsistema 17°, o operador iniciará o trabalho pelo fundo do talhão, posicionando a máquina perpendicular à estrada por onde a madeira irá sair, entre a segunda e terceira linhas, totalizando um eito de quatro linhas de árvores, porém, na hora de posicionar as árvores já cortadas na pilha, a máquina efetua um pouco mais de giro até alcançar um ângulo de aproximadamente 45° com o alinhamento do plantio. Após chegar à estrada, a máquina continuará no sentido contrário (estrada/fundo do talhão) (Figura 2).

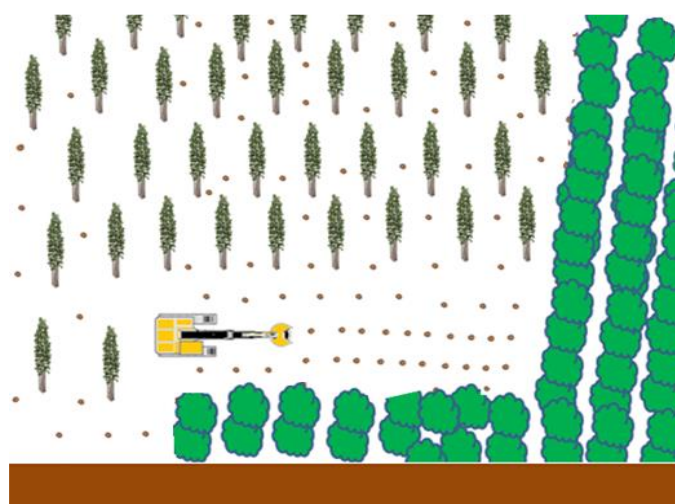
Figura 2. Esquema representativo de colheita no subsistema com ângulos de 45°.



Fonte: o autor (2018).

Nesse subsistema, o operador iniciará a operação no fundo do talhão, porém diferente dos dois anteriores, a máquina será posicionada paralela à estrada por onde a madeira irá sair, se colocando entre a segunda e terceira linhas, totalizando um eito de quatro linhas de árvores. As árvores já cortadas são colocadas no *buncher* ou pilha, num ângulo de 90° com o alinhamento do plantio e a estrada. Nessa operação, o operador fará uma espécie de quadro, percorrendo uma distância planejada anteriormente, cortando árvores nos dois sentidos (direita e esquerda), até sair na estrada, concluindo o quadro e liberando a madeira para o arraste (Figura 3).

Figura 3. Esquema representativo de colheita no subsistema com ângulos de 45°.



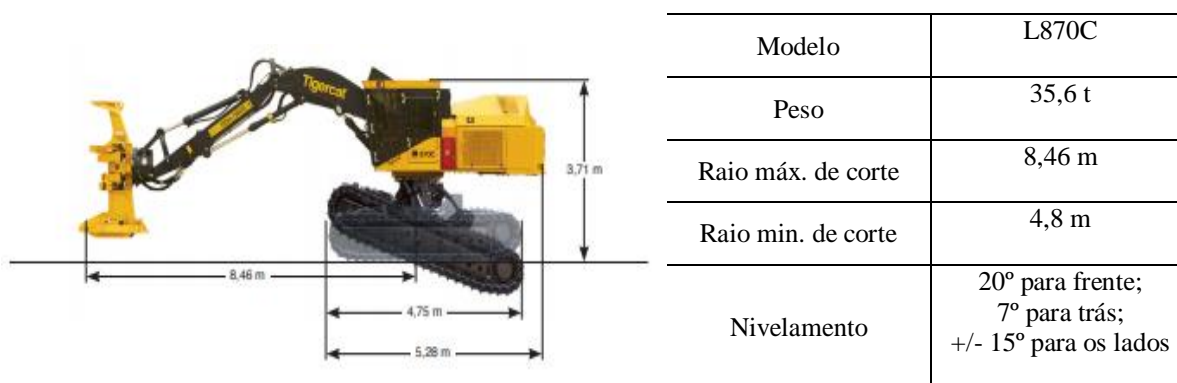
Fonte: o autor (2018).

4.3. Equipamento utilizado

O equipamento utilizado para a realização das análises foi um *feller buncher* da marca Tigercat (Figura 4), modelo L870 C, com 3679 horas trabalhadas, equipado com motor

Cummins QSL9 Tier III (diesel) de 224 kW/300 hp de potência nominal a 1800 rpm e cabeçote de corte Tigercat modelo ST5702 (Figura 5).

Figura 4. Modelo de FellerBuncher L870C/LX870C e características.



Fonte: Tigercat (2018).

Figura 5. Modelo de cabeçote ST5702 e características.



| | |
|------------------------|--------------------|
| Modelo | ST5702 |
| Peso | 2,69 t |
| Diâmetro máx. de corte | 58,5 m |
| Área útil de corte | 0,5 m ² |
| Capacidade de carga | 3,2 t |
| Diâmetro do disco | 1,45 m |
| Velocidade | 1150 rpm |

Fonte: Tigercat (2018).

4.4. Coleta de dados (Definição da intensidade amostral)

Para se definir a produtividade efetiva do equipamento (em m³ he⁻¹, unidade utilizada para medir a quantidade em metros cúbicos de madeira o equipamento consegue derrubar em uma hora efetiva de trabalho), inicialmente foi realizado um estudo piloto dos subsistemas analisados para que fosse definida a quantidade de parcelas necessárias para se alcançar um erro de amostragem máximo de 5% e um nível de 95% de probabilidade, segundo a metodologia proposta por Cochran (1965):

$$N' > \frac{t^2 \times s^2}{0,05 \times \bar{x}}$$

Em que: N' = número necessário de observações necessárias para se obter ±5% de erro e 95% de nível de confiança; t = valor de t de student tabelado para o nível de probabilidade desejado

e (n-1) graus de liberdade; s = desvio padrão; \bar{x} = produtividade média do *feller buncher* (m^3he^{-1}).

De acordo com o estudo piloto, nove parcelas de cada tratamento seriam necessárias para que a confiabilidade de 95% fosse atingida, sendo adotadas então dez parcelas por ângulo de derrubada, contendo 100 árvores cada, sendo uma derrubada a 17° (T1), outra a 45° (T2) e outra a 90° (T3). As coletas foram realizadas em novembro de 2018.

4.5. Análise operacional

A análise operacional foi realizada por meio de estudo de tempos e movimentos. Para tal, a operação da máquina foi subdividida em fases do ciclo operacional. Utilizou-se o método de cronometragem volta a zero, onde o contador era zerado após cada fase do ciclo, com o apoio do aplicativo Time Motion Studies instalado num tablet Samsung Galaxy Tab A. A tabela 1 traz a descrição de cada fase do ciclo operacional do *feller buncher* utilizado nesse estudo:

Tabela 1. Descrição de cada fase do ciclo operacional do *feller buncher*.

| Atividade | Descrição |
|----------------------|---|
| Corte/Acúmulo | Tempo consumido pela máquina para o corte e acúmulo das árvores, se inicia assim que o cabeçote corta a primeira árvore e termina quando as árvores são colocadas na pilha. |
| Empilhamento | Tempo consumido pela máquina para colocar as árvores recém cortadas na pilha, se inicia assim que as árvores são colocadas na pilha e termina assim que o cabeçote se posiciona e corta a primeira árvore do próximo ciclo. |
| Deslocamento vazio | Tempo gasto pela máquina para se deslocar dentro do talhão sem estar realizando trabalho. |
| Organização de pilha | Tempo gasto pelo operador para organizar as pilhas com o intuito de facilitar o arraste. |

Fonte: o autor (2018).

De posse dos resultados foram determinadas a produtividade por hora efetiva de trabalho ($\text{m}^3 \text{he}^{-1}$), consumo específico de combustível ($\text{g kW}^{-1} \text{h}^{-1}$) e rendimento energético do equipamento (g kW^{-1}).

4.5.1. Disponibilidade mecânica (DM)

A disponibilidade mecânica é definida como a parcela de tempo em que a máquina está tecnicamente apta a realizar trabalho produtivo, excluindo-se a parcela de tempo ocupada

com paradas técnicas programadas ou não, como propõe Lopes et al. (2008). Para se efetuar esse cálculo, foram utilizados dados de disponibilidade mecânica da máquina cedidos pela empresa, provenientes de uma série histórica mais completa e obtidos mensalmente.

4.5.2. Grau de utilização (GU)

O índice de grau de utilização é definido como a fração de tempo em que a máquina estava tecnicamente apta a trabalhar, porém estava em parada operacional, excluindo-se o tempo de refeição do operador. O cálculo foi efetuado com base em dados da empresa que são provenientes de uma série histórica mais completa e obtidos mensalmente.

4.5.3. Eficiência operacional (EOP)

A eficiência operacional é a quantidade de tempo, com relação ao tempo total programado para o trabalho, que foi efetivamente trabalhado, método de cálculo proposto por Lopes (2007). Esse cálculo foi feito multiplicando-se o valor de DM pelo valor de GU, utilizando dados cedidos pela empresa que são provenientes de uma série histórica mais completa e obtidos mensalmente.

4.5.4. Produtividade Efetiva

A produtividade efetiva foi obtida utilizando o volume médio individual (VMI) fornecido pelo inventário da empresa, o número de árvores derrubadas em cada angulação e as horas efetivas de trabalho em cada tratamento, seguindo a fórmula sugerida por Minette et al. (2008):

$$Pr = \frac{N \times VMI}{he}$$

Onde Pr = produtividade efetiva ($m^3 \text{ he}^{-1}$); N = número total de árvores derrubadas em cada tratamento; VMI = volume médio individual; he = horas efetivas trabalhadas em cada tratamento (horas).

4.5.5. Consumo específico de combustível

O consumo específico de combustível é calculado usando-se o consumo de combustível por unidade de potência nominal do equipamento, utilizando a expressão:

$$CE = \frac{D \times C}{P}$$

Onde: CE = consumo específico de combustível (g kW⁻¹he⁻¹); D = densidade do combustível (g L⁻¹), sendo utilizado o valor de 0,85 g L⁻¹ para diesel, como sugerido por Agarwal (2007); C = consumo de combustível por hora efetiva (L he⁻¹); P = potência nominal do trator (kW)

4.5.6. Rendimento energético

O rendimento energético é calculado pela razão entre o consumo específico de combustível e a produtividade da máquina em cada subsistema de derrubada, de acordo com a expressão:

$$RE = \frac{CE}{Pr}$$

Onde: RE = rendimento energético (g kW⁻¹m³); CE = consumo específico de combustível (g kW⁻¹ he⁻¹); Pr = produtividade (m³ he⁻¹).

4.6. Análise econômica

A análise econômica baseou-se na determinação dos custos operacionais pelo método contábil e dos custos de produção, que é a razão entre os custos operacionais e a produtividade efetiva da máquina em cada tratamento.

4.6.1. Custos operacionais

Segundo Machado e Malinovski (1988), os custos operacionais correspondem à soma dos custos de aquisição e operação de um equipamento e devem ser divididos entre custos fixos, aqueles cujos valores não variam com as horas de produção e custos variáveis, que são alterados proporcionalmente de acordo com a quantidade de horas em que o equipamento é efetivamente utilizado. Dentro dos custos fixos estão os custos com depreciação, juros e seguros e remuneração de pessoal. Já no que diz respeito aos custos variáveis estão presentes os custos com combustíveis, lubrificantes, óleo hidráulico, material rodante, manutenção, transporte de pessoal e maquinário e custos administrativos.

Custos fixos

Depreciação

Os custos de depreciação correspondem ao custo de desvalorização dos equipamentos ao longo de sua vida útil. Esse valor tem origem tanto na desvalorização que ocorre naturalmente por desgaste do material devido ao uso quanto no obsolescimento do equipamento devido ao surgimento de novas máquinas mais eficientes e modernas. Para esse cálculo foi utilizado o método de depreciação linear, onde o valor depreciável é a diferença entre o valor

de compra e de revenda, dividido pela vida útil e horas efetivas de trabalho anuais, seguindo a expressão:

$$D = \frac{Va - Vr}{N \times he}$$

Onde D = valor de depreciação da máquina ($R\$he^{-1}$); Va = Valor de aquisição da máquina (R\$); Vr = valor de revenda da máquina (R\$); N = vida útil estimada do equipamento (anos); he = horas efetivas de uso anuais (horas). Foi utilizado o valor de Vr de 20% do Va, de acordo com dados da empresa.

Juros e Seguros

Os juros foram calculados aplicando-se uma taxa real de 8% a.a. no investimento médio anual (IMA). Já o valor de seguros, que é um valor correspondente à riscos de prejuízos relacionados à operação do equipamento foi de 2% a.a., totalizando 10% a.a. (dados cedidos pela empresa). Para se encontrar os valores de IMA e custo de juros e seguros (JS) foram utilizadas duas expressões, sugeridas por Lopes (2007):

$$IMA = \frac{(Va - Vr) \times (N + 1)}{2 \times N} + Vr$$

Onde: IMA = investimento médio anual (R\$); Va = Valor de aquisição da máquina (R\$); Vr = valor de revenda da máquina (R\$); N = vida útil estimada do equipamento (anos).

$$JS = \frac{IMA \times i}{he}$$

Onde: JS = custo de juros e seguros ($R\$ he^{-1}$); IMA = investimento médio anual (R\$); i = taxa de juros e seguros (%); he = horas efetivas de uso anuais (horas).

Custos de remuneração de pessoal

Os custos com remuneração de operadores foi calculado com base no salário nominal, encargos sociais e benefícios pagos na região. Foi utilizado um salário médio, encargos sociais obrigatórios por lei relacionados à 13º salário, férias, FGTS, INSS, além de benefícios relacionados à plano de saúde, plano odontológico, vale transporte, vale alimentação e etc.

Custos administrativos

Os custos de administração foram fornecidos pela empresa e envolvem tudo que é relacionado à estrutura do módulo de colheita, abrangem supervisão das operações, transporte de pessoal, transporte de máquina, administração e etc.

Custos variáveis

Combustível

O cálculo de custo com combustível foi efetuado com as médias de consumo de diesel da máquina, o controle é feito por equipamento de acordo com o que é utilizado pelo caminhão comboio, que realiza o abastecimento e lubrificação. A média é multiplicada pelo preço pago no litro do combustível (R\$ 2,15) e pela quantidade efetiva de horas em que o equipamento esteve trabalhando, seguindo a expressão:

$$CC = Pu \times C$$

Onde: CC = custo com combustível (R\$ he⁻¹); Pu = preço por litro de óleo diesel (R\$ L⁻¹); C = consumo de óleo diesel por hora (L he⁻¹).

Lubrificantes e graxas

O custo com lubrificantes e graxas (CLG) foi considerado como 10% do custo com combustíveis (CC), conforme histórico da empresa, utilizando a expressão seguinte:

$$CLG = 0,01 \times CC$$

Onde: CLG = custo com lubrificantes e graxas (R\$ he⁻¹); CC = custo com combustível (R\$ he⁻¹).

Óleo hidráulico

Os custos com óleo hidráulico foram obtidos do banco de dados da empresa, o controle é feito por máquina de acordo com o que é utilizado pelo caminhão comboio, que realiza o abastecimento e lubrificação. O valor é então multiplicado pelo preço médio de compra do litro de óleo hidráulico, seguindo a expressão:

$$COH = Pu \times C$$

Onde: COH = custo com óleo hidráulico (R\$ he⁻¹); Pu = preço por litro de óleo hidráulico (R\$ L⁻¹); C = consumo de óleo hidráulico por hora (L he⁻¹).

Material rodante

Os custos com material rodante (esteira) podem ser calculados utilizando a razão entre o valor de um par de esteiras e a vida útil do material rodante, utilizando a expressão:

$$CR = \frac{Nr \times Vr}{Hr}$$

Onde: CR = custo de um rodado (R\$ he⁻¹); Nr = número de rodados da máquina; Hr = vida útil do rodado em horas efetivas de trabalho (he).

Manutenção

Os custos com manutenção foram obtidos do banco de dados da empresa, sendo relacionados a custos de peças, materiais e mão de obra das manutenções corretivas e preventivas.

4.7. Custos de produção

Os custos de produção foram calculados pela razão entre custos operacionais (R\$ m³ he⁻¹) e produtividade efetiva em cada subsistema (m³ he⁻¹), utilizando a seguinte expressão:

$$CP = \frac{CO}{Pr}$$

Onde: CP = custos de produção (R\$ m³); CO = custos operacionais (R\$ he⁻¹); Pr = produtividade efetiva (m³ he⁻¹).

4.8. Análises estatísticas

O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado, sendo procedida a análise de variância nas variáveis produtividade e tempo de ciclo operacional nos três tratamentos, seguida pelo teste de Tukey a 5% de significância.

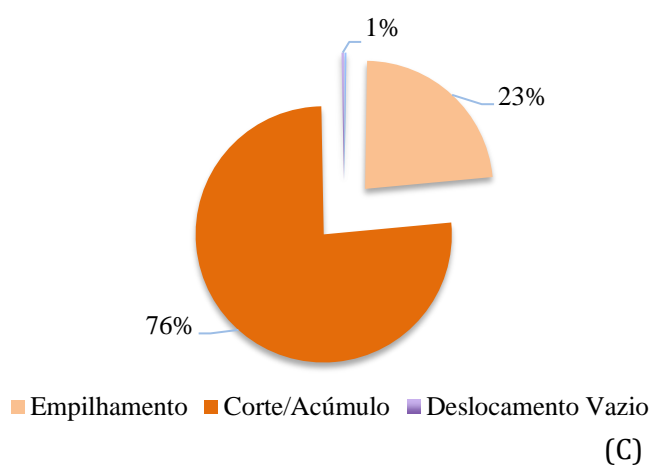
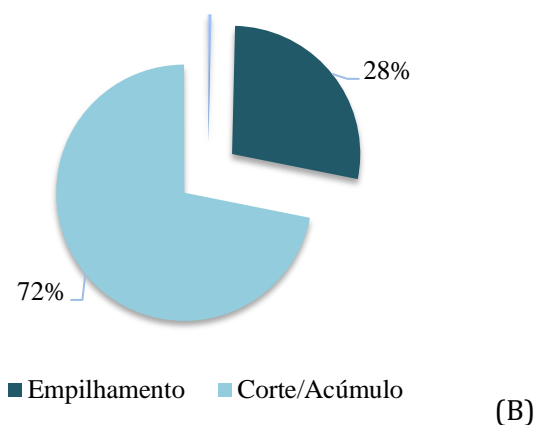
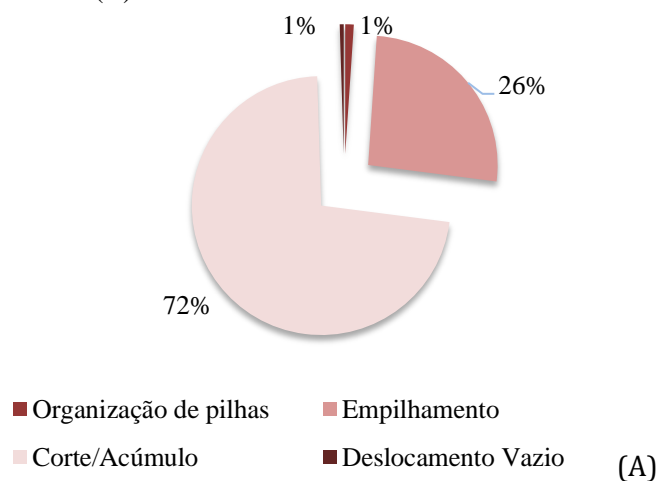
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análise Operacional

5.1.1. Distribuição dos elementos do ciclo operacional

No subsistema de derrubada 17° o elemento corte/acúmulo ocupou 72% do tempo efetivo de trabalho, seguido pelo elemento empilhamento com 26%, que juntos ficaram responsáveis por quase a totalidade do tempo efetivo de trabalho do equipamento. Apresentando ainda porcentagem de 1% para cada um dos elementos restantes, organização de pilhas e deslocamento vazio (Figura 6A). No subsistema 45° as médias ficaram praticamente iguais, com 76% e 28%, respectivamente para os elementos corte/acúmulo e empilhamento, não houve os elementos organização de pilhas e deslocamento vazio nesse tratamento (Figura 6B). Já no subsistema 90°, o elemento corte/acúmulo ocupou 76% do tempo efetivo de trabalho, seguido por 23% para empilhamento e 1% para deslocamento vazio, não houve o elemento organização de pilhas nesse tratamento (Figura 6C).

Figura 6. Porcentagem do tempo total contabilizado nas etapas que compuseram o tratamento T1: subsistema 17° (A). Porcentagem do tempo total contabilizado nas etapas que compuseram o tratamento T2: subsistema 45° (B). Porcentagem do tempo total contabilizado nas etapas que compuseram o subsistema 90° (C).



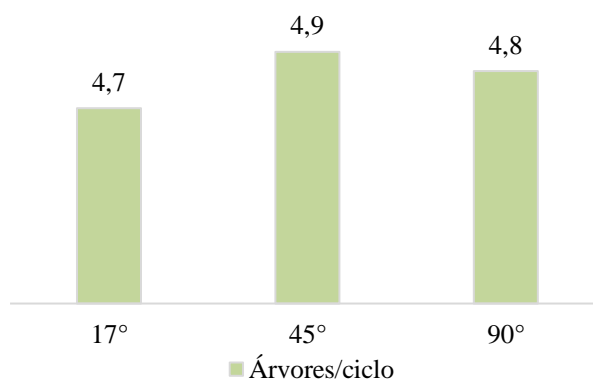
Fonte: o autor (2018).

Simões et al. (2010), avaliando alguns subsistemas de derrubada com *feller buncher* em florestas de eucalipto de segundo corte encontraram resultados próximos aos desse

trabalho (72% para corte e 25% para o buscar árvore). Oliveira (2013), avaliando dois sistemas de colheita de florestas de eucalipto na mesma região e com o mesmo modelo de equipamento também encontrou valores parecidos. Moreira (2004), estudando um sistema de colheita de pinus com *feller buncher* encontrou valores de deslocamento vazio maiores, porém proporcionalmente os valores de corte/acúmulo e empilhamento foram similares.

O fato do elemento corte e acúmulo ocupar mais tempo que o elemento empilhamento é explicado pela capacidade do cabeçote de acumular árvores. Em média um cabeçote acumulou 4 árvores (Figura 7), para os três subsistemas, em cada ciclo, para só então colocá-las na pilha. Isso explica o fato de $\frac{3}{4}$ do tempo efetivo de trabalho estar vinculado diretamente a etapa corte/acúmulo em todos os tratamentos.

Figura 7. Capacidade de acúmulo de árvore para os três subsistemas estudados (17°, 45° e 90°).



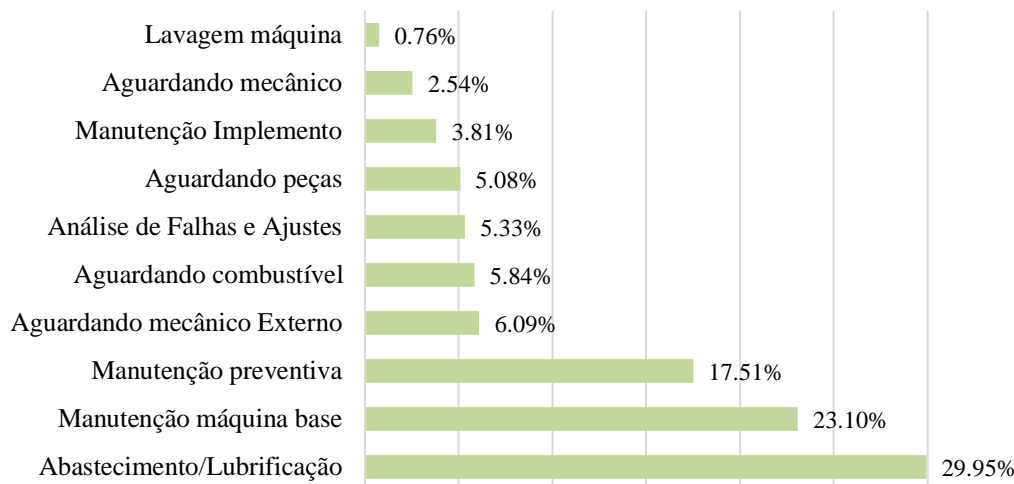
Fonte: o autor (2018).

5.1.2. Disponibilidade mecânica, grau de utilização e eficiência operacional

A disponibilidade mecânica do equipamento foi alta (93%), que pode ser explicada pelo pouco tempo de uso da máquina, que tem vida útil esperada de 5 anos ou 20 mil horas, entretanto foi utilizada por pouco menos de 4 mil horas. Por ser uma máquina ainda considerada nova, paradas técnicas que provocassem maiores transtornos não foram registradas em quantidade que pudessem afetar a produção e disponibilidade mecânica.

Dentre os motivos de parada técnica, os principais foram: abastecimento e lubrificação, que correspondeu a 118 horas, o que pode ser explicado pela alta capacidade do tanque de combustível do equipamento (970 L), sendo necessários em torno de meia hora por dia para o completo abastecimento e lubrificação; manutenção preventiva e manutenção da máquina base que representaram juntas cerca de 160 horas do total de tempo de parada mecânica (Figura 8).

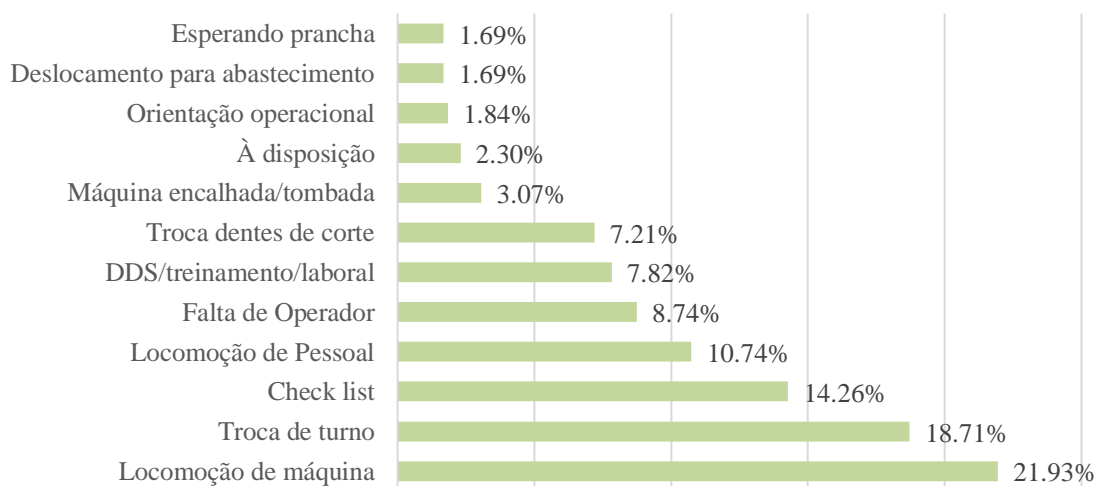
Figura 8. Motivos de paradas mecânicas observadas nos subsistemas (17°, 45° e 90°) para o *feller buncher* L870C/LX870C.



Fonte: o autor (2018).

O grau de utilização do equipamento foi mais baixo (85%), motivado principalmente pelo tempo gasto em locomoção de máquina e troca de turno, que somaram respectivamente 21,93% e 18,71% do tempo total de paradas operacionais. A locomoção é explicada pela necessidade de utilização de caminhão prancha para deslocamentos maiores, além do próprio deslocamento entre talhões realizado pela máquina, o que mostra a importância de um bom planejamento para a realização da sequência de trabalho. O tempo de troca de turnos também chama atenção, correspondendo à 18,71% do tempo de parada operacional, explicitando a relevância de uma troca de turno eficiente e bem planejada (Figura 9).

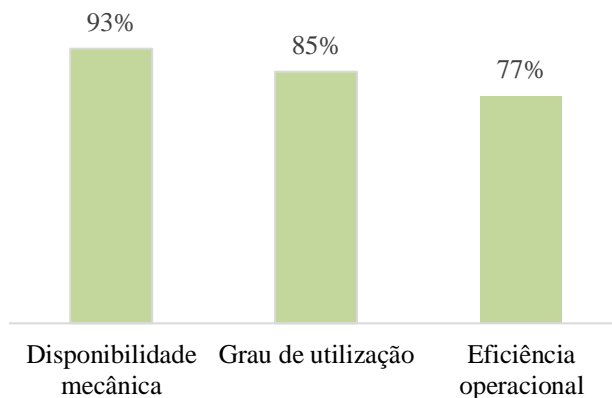
Figura 9. Motivos de paradas operacionais observadas para os subsistemas (17°, 45° e 90°) para o *feller buncher* L870C/LX870C.



Fonte: o autor (2018).

Graças aos valores de disponibilidade mecânica e grau de utilização apresentados anteriormente, a eficiência operacional do equipamento alcançou 77% (Figura 10), que é um valor abaixo do esperado para esse tipo de equipamento, sendo um bom valor esperado a partir de 85%.

Figura 10. Valores de disponibilidade mecânica, grau de utilização e eficiência operacional do equipamento em porcentagem.



Fonte: o autor (2018).

5.1.3. Produtividade efetiva

As médias de produtividade efetiva do feller buncher nos subsistemas 17° (T1), 45° (T2) e 90° (T3) foram submetidas à análise de variância, após a confirmação da intensidade amostral, que ratificou que o uso de dez parcelas com cem árvores cada atenderia ao erro esperado de 5%, (Tabela 2):

Tabela 2. Tabela da análise de variância para os tratamentos T1, T2, T3.

| Análise de variância | Delineam.: Interiamente casualizado | | | | |
|----------------------|-------------------------------------|----------|--------|------|----------|
| Causas | GL | SQ | QM | F | Prob{>F} |
| Tratamentos | 2 | 694,34 | 347,17 | 4,22 | 0,0255 * |
| Resíduo | 27 | 2 222,22 | 82,30 | | |
| Total | 29 | 2 916,56 | | | |

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

| | |
|--------------------------------|--------|
| Média geral | 142,20 |
| Desvio-padrão | 9,07 |
| Diferença mínima significativa | 10,06 |
| Coefficiente de variação % | 6,38 |

Fonte: o autor (2018).

Após ser verificada diferença significativa entre as médias na análise de variância, as mesmas foram submetidas ao teste de Tukey a 5%. De acordo com os resultados, o subsistema 90° alcançou a melhor produtividade efetiva na derrubada com *feller buncher* (149 m³ he⁻¹), diferindo estatisticamente dos outros dois subsistemas. Os tratamentos 17° e

45° obtiveram média de 138,68 e 138,91 m³ he⁻¹ respectivamente, não diferindo estatisticamente entre si no mesmo teste (Tabela3).

O melhor resultado no subsistema 90° pode ser explicado pela quantidade menor de movimentos realizados pelo equipamento. Como a máquina se posiciona paralelamente à estrada por onde a madeira irá sair, ela precisa empilhar as árvores cortadas perpendicularmente a si, ou seja, o operador apenas gira a máquina base cerca de 90 graus e descarrega as árvores. Nos outros dois subsistemas (17° e 45°), a máquina se posiciona perpendicularmente à estrada, colocando madeira sempre à sua esquerda ou direita, dependendo de que sentido está sendo efetuado o corte, o fato é que nesse tipo de movimento é mais utilizado um recurso de giro do cabeçote chamado “*wrister*”, que é mais lento que o giro principal do equipamento. Além disso, o posicionamento da máquina no subsistema 90° permite que o corte seja sempre feito com o sentido da inclinação do terreno lateral ao equipamento, o que otimiza o uso do nivelamento.

Tabela 3. Análise para o teste de Tukey a 5% para os tratamentos, T, T2 e T3.

| Teste de Tukey a 5% | | |
|---------------------|--------|--------|
| Tratamentos | Médias | Signif |
| 90° | 149,00 | a |
| 45° | 138,91 | b |
| 17° | 138,68 | b |

Obs.: letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias.

Fonte: O autor (2018)

Moreira et al. (2004) testando sistemas de corte de eucalipto com *feller buncher*, obtiveram uma média horária de árvores cortadas semelhantes ao que foi encontrado nesse estudo (500 e 542 árvores he⁻¹), porém diferiu consideravelmente nas médias de produtividade, obtendo médias de 33,47 e 36,1 m³ he⁻¹, que é explicada principalmente pelo volume médio por árvore utilizado no estudo, com médias de 0,054, 0,068 e 0,079 m³ árvore⁻¹, contra 0,342 m³ árvore⁻¹ utilizado nesse estudo. Além disso, o equipamento utilizado era de menor porte, possuindo um motor com um pouco mais da metade da potência do utilizado nesse estudo.

Simões et al. (2010), utilizando o mesmo equipamento do estudo anterior obteve médias melhores (70,03 a 91,6 m³ he⁻¹), porém ainda menores do que as encontradas nesse estudo. Simões (2008), utilizando o mesmo equipamento dos estudos anteriores, porém em condições de relevo plano conseguiu média de produtividade efetiva de 118,51 m³ he⁻¹,

corroborando com as encontradas nesse estudo, o que demonstra a importância do relevo na produtividade do *feller buncher*.

Oliveira (2013), trabalhando com equipamento e áreas semelhantes obteve média menor de produtividade efetiva ($86,99 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$), o que pode ser explicado pelo fator desgaste do equipamento e eficiência operacional da operação, o utilizado pelo autor estava no final de vida útil (16.700 h) e apesar de ter um índice de disponibilidade mecânica alta (93%), obteve um índice de eficiência operacional baixo (67,8%). Tanto é que a produtividade por hora, sem contar com a eficiência operacional, chegou aos $130 \text{ m}^3 \text{ he}^{-1}$, praticamente semelhante às médias encontradas no presente estudo, demonstrando mais uma vez a relevância de um bom planejamento de operação e corroborando com este trabalho.

Além das médias de produtividade efetiva, as médias de tempo (segundos) gasto para a finalização de um ciclo operacional em cada tratamento foram testadas no teste de Tukey a 5% de significância após ser verificado que existiam diferenças significativas na análise de variância, o tratamento 45° obteve uma maior média de tempo por ciclo operacional (34,13 s), diferindo estatisticamente dos outros dois tratamentos que obtiveram 31,98 (17°) e 30,87 s (90°). Esses dados mostram que o menor tempo de ciclo foi do tratamento 90° , corroborando com os resultados de produtividade efetiva.

É extremamente importante evidenciar que todos os subsistemas foram trabalhados a favor do alinhamento do plantio, evitando que o equipamento tivesse que passar por cima de cepas, otimizando a vida útil do material rodante e o conforto do operador, além de melhorar a movimentação da máquina base e grua/cabeçote, sendo essa a indicação para o trabalho rotineiro na colheita com *feller buncher*. Logo, independente de qual subsistema seja considerado mais produtivo, ele deve ser utilizado apenas nos casos em que o alinhamento e o planejamento permitam.

Por último, o subsistema de derrubada 90° deve ser utilizado com cautela, pois apesar de a posição das pilhas de árvores facilitar o arraste, o fato do equipamento cortar paralelo à estrada e do fundo para a frente do talhão, deixa os *bunchers* impossibilitados de serem arrastados até que o quadro seja concluído e a máquina saia na beira da estrada, o que pode, muitas vezes, demorar um turno inteiro de trabalho do operador. Por isso, esse tipo de subsistema é frequentemente usado quando se existe um intervalo entre a operação de derrubada e a de arraste, sendo desaconselhado o uso nos casos em que o arraste está muito próximo, evitando-se tempo de máquina parada por falta de madeira nas operações seguintes.

5.1.4. Consumo específico de combustível e rendimento energético

O consumo de combustível do equipamento foi de 44,78 L he⁻¹, alcançando um consumo específico no valor de 169,92 g kw⁻¹ he⁻¹ e um rendimento energético de 1,22, 1,22 e 1,14 g kw⁻¹ m³, respectivamente para os subsistemas 17°, 45° e 90°. O menor valor que Simões (2010) alcançou de rendimento energético foi 2,3 g kw⁻¹ m³. Moreira et al. (2004) alcançaram um valor de 4,09 g kw⁻¹ m³. Apesar do alto consumo horário de combustível do equipamento, a maior produtividade efetiva explica o alto rendimento energético obtido. O que explica o baixo rendimento dos estudos citados é que ambos usaram máquinas menores, com menor consumo, porém também menor rendimento energético. O mesmo não vale para Oliveira (2013), que utilizando um equipamento similar e com produtividade efetiva apenas um pouco abaixo, obteve o valor de 1,6 g kw⁻¹ m³, valor que confirma os resultados desse trabalho.

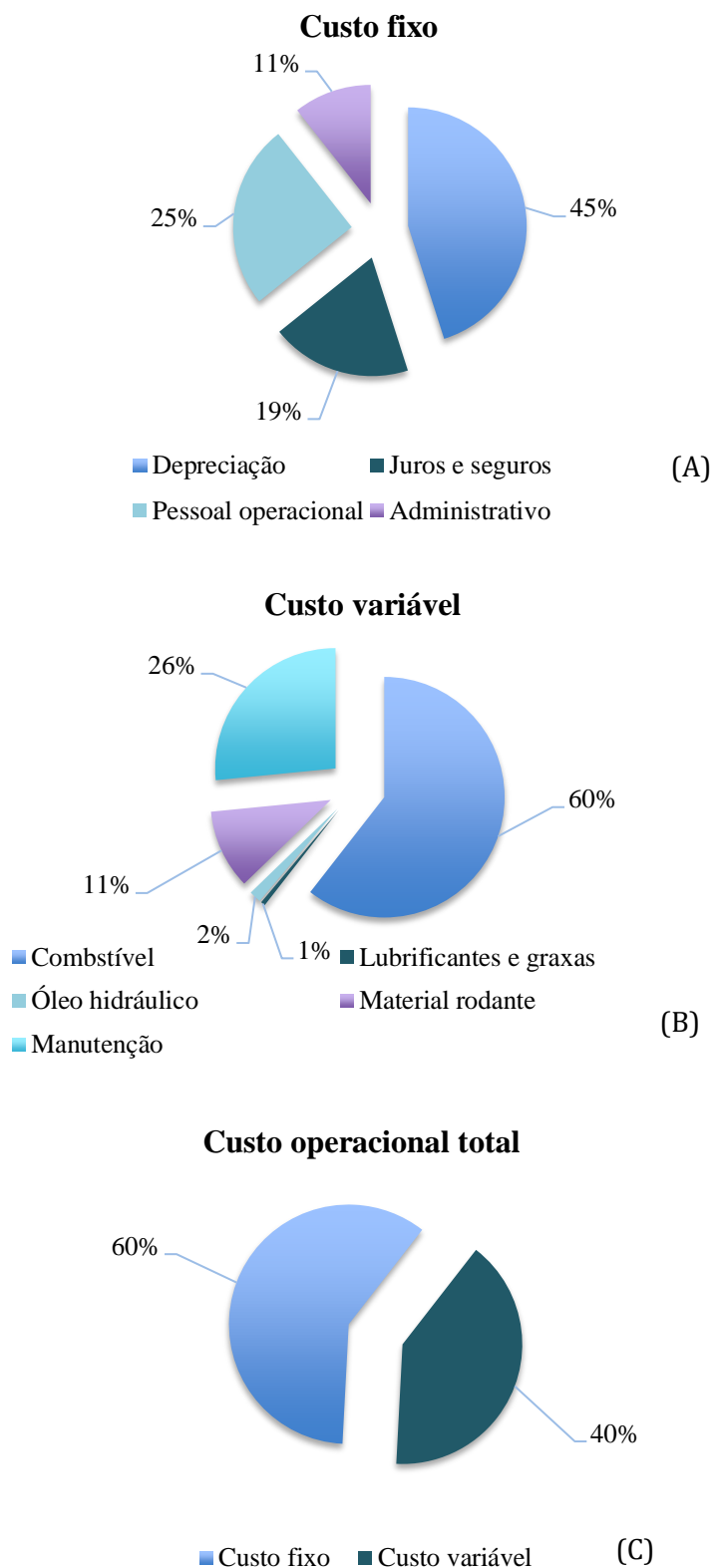
5.2. Custos operacionais e de produção

O custo operacional do *feller buncher* foi de R\$ 371,68 por hora efetiva de trabalho. Os maiores valores parciais relacionados ao custo fixo operacional, como pode ser visto na tabela 4, são o de depreciação do equipamento e custo com juros e seguros, sendo 26,91 e 11,43% do custo total respectivamente, que são explicados pelo alto valor de aquisição da máquina com implemento. Os custos de pessoal operacional e administrativo alcançaram 15,01 e 6,34% do custo total respectivamente, esses valores podem variar consideravelmente, pois incluem transporte de funcionários, alimentação, salários e benefícios e estão diretamente relacionados à região e distância até a cidade base aonde o módulo está alocado (Figura 11A).

Na fração de custos variáveis, o maior custo foi o de combustível, alcançando 24,41% do custo operacional total, esse valor é explicado pelo alto valor de potência nominal e porte do equipamento utilizado que deve obter uma maior produtividade para a diluição de tal valor. Manutenção e material rodante alcançaram 10,71 e 4,30% do custo operacional total, os custos com manutenção podem variar principalmente com tempo de uso do equipamento, tendendo a aumentar consideravelmente conforme a vida útil do mesmo vai se aproximando do fim, o mesmo acontece com óleo hidráulico e lubrificantes, que obtiveram respectivamente 0,65 e 0,24% do custo operacional total, já que com o envelhecimento de mangueiras e componentes os mesmos apresentam falhas e vazamentos (Figura 11B). Os

custos fixos e variáveis representaram 60 e 40% respectivamente do custo operacional total (Figura 11C).

Figura 11. Composição dos custos (A). Custo fixo (B). Custo variável (C). Custo operacional total.



O custo de produção do *feller buncher* L870C/LX870C, nas condições avaliadas foi de R\$ 2,68, R\$ 2,68 e R\$ 2,49 por metro cúbico de madeira para os subsistemas 17°, 45° e 90° respectivamente (Tabela 4). Nascimento et al. (2010), estudando posições de derrubada com *feller buncher* em florestas de eucalipto obtiveram valor de custo operacional de R\$ 195,26 por hora efetiva e custo de produção de R\$ 3,95 por metro cúbico de madeira, e apesar do valor de custo operacional ser mais baixo, o valor do custo de produção aparece bem mais alto que o encontrado nesse estudo, o que pode ser explicado pelo baixo rendimento da máquina utilizada ($48,8 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$).

Oliveira (2013), utilizando um equipamento similar, obteve um valor ainda maior ($4,68 \text{ R\$ m}^3$), que também pode ser explicado pelo baixo rendimento ($86,99 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$) e pelo tempo de utilização muito adiantado da máquina, o que gera alto custo de manutenção. Simões (2008), estudando sistemas de colheita florestal em florestas de eucalipto alcançou um rendimento operacional de *feller buncher* parecido ($118,51 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), porém com um custo bem mais baixo ($1,11 \text{ R\$ m}^{-3}$), influenciado principalmente pelo menor custo de aquisição e consequentemente depreciação de máquina.

Tabela 4. Valores de produtividade, custo operacional, custo de produção (por m^3 e t) para a utilização do *feller buncher* L870C/LX870C B os tratamentos T1, T2 e T3.

| Subsistema | Produtividade ($\text{m}^3 \text{ h}^{-1}$) | Custo Operacional (R\$ m^{-3}) | Custo Produção (R\$ m^{-3}) | Custo Produção (R\$ t^{-1}) |
|------------|---|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| 17° | 138,68 | 371,68 | 2,68 | 2,32 |
| 45° | 138,91 | 371,68 | 2,68 | 2,32 |
| 90° | 149,00 | 371,68 | 2,49 | 2,16 |

Fonte: o autor (2018).

6. CONCLUSÕES

- Houve diferença entre o tratamento 3 (subsistema 90°), que alcançou produtividade efetiva 7% maior ($149 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$), e os outros 2 tratamentos (17° e 45°), que alcançaram 138,68 e 138,91 m^3 por hora efetiva de trabalho respectivamente;
- O subsistema 90°, apesar de ser mais produtivo, deve ser usado apenas em situações favoráveis, já que pode ocasionar problemas nas operações seguintes caso o arraste esteja muito próximo da derrubada;
- Ambos os subsistemas de derrubada devem ser usados quando e onde sejam oportunos, não é aconselhado o trabalho contra o alinhamento de plantio, evitando-se assim desgaste do equipamento e desconforto do operador ao trafegar sobre a linha de cepas;

- O custo de produção do tratamento mais efetivo foi 7% menor (2,16 R\$ t⁻¹, contra 2,32 R\$ t⁻¹ dos outros tratamentos), justificando o uso do subsistema 90° nos locais e situações onde é possível utilizá-lo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEBAYO, A. B.; HAN, H.; JOHNSON, L. Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand. **Forest Products Journal**, v. 57, n. 6, p. 59, 2007.

AGARWAL, A. K. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. **Progress in energy and combustion science**, v. 33, n. 3, p. 233-271, 2007.

ALTOÉ, F. E. **História e Evolução da Colheita Florestal no Brasil**. 2008.

ANTONANGELO, A.; BACHA, C. J. C. As fases da silvicultura no Brasil. **Revista Brasileira de Economia**, v. 52, n. 1, p. 207-238, 1998.

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, 2004.

CAVIGLIONE, J. H. et al. Cartas climáticas do Paraná. Londrina: IAPAR, 2000.

COCHRAN, W. **Técnicas de amostragem**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1965. 279 p.

INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório anual da IBÁ 2017, ano base 2016**. 77 p. Disponível em: <<http://www.iba.org>>. Acesso em: 25/10/2018.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). **Planning forest road and harvesting systems**. Forestry Paper no. 2. Rome: FAO, 1977.

FOELKEL, C. E. B. Eucalipto no Brasil, história de pioneirismo. **Visão Agrícola**, Piracicaba, v. 4, n. 1, p.66-69, jul. 2005.

JUVENAL, T. L.; MATTOS, R. L. G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. **BNDES Setorial**, n.16, p.3-30, 2002.

KELLOGG, L. D. **Mechanized felling in the Pacific Northwest: Existing and future technology**. 1992.

LOPES, S. E. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal**. (Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 124p. 2007.

MACHADO, C. C. **Colheita florestal**. Universidade Federal de Viçosa, 2008, 501 p.

MACHADO, C. C.; LOPES, E. da S. Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal. **Cerne**, v. 6, n. 2, 2000.

MACHADO, C. C.; MALINOVSKI, J. R. Ciência do trabalho florestal. **Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa**, 1988.

MINETTE, L. J. et al. Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada em Niquelândia, Goiás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 6, p. 659-665, 2008.

MIYATA, E. S. Determining fixed and operating costs of logging equipment. **General Technical Report NC-55**. St. Paul, MN: US Dept. of Agriculture, Forest Service, North Central Forest Experiment Station, v. 55, 1980, 16 p.

MOREIRA, F. M. T. Análise técnica e econômica de subsistemas de colheita de madeira de eucalipto em terceira rotação. **Viçosa, MG: UFV**, 2000.

MOREIRA, F. M. T.; SOUZA, A. D., Machado, C. C., Minetti, L. J.; Silva, K. R. Avaliação operacional e econômica do “Feller-Buncher” em dois subsistemas de colheita de florestas de eucalipto. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 199-205, 2004.

NASCIMENTO, A. C., LEITE, A. M. P., SOARES, T. S., FREITAS, L. C. Avaliação técnica e econômica da colheita florestal com fellerbuncher. **Revista Cerne**, Lavras, v. 17, n. 1, p. 9-15, 2011.

OLIVEIRA, D. **Análise operacional e custos de sistemas de colheita de madeira em povoamentos de eucalipto**. (Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal), Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 116 f. 2013.

SALMERON, A. A mecanização da exploração florestal. **Série Técnica IPEF**, v.1, n.2, Piracicaba, p. 01-12, 1980.

SILVA, J. R.; FENNER, P. T.; CATANEO, A. Avaliação do desempenho operacional de trator florestal “Feller-Buncher”. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v.6, n.1, p.29-34, 2007.

SIMÕES, D.; IAMONTI, I. C.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do corte de eucalipto com feller-buncher em diferentes condições operacionais. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 4, p. 649-656, 2010.

SIMÕES, D. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto**. (Dissertação de Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas/Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 105 f. 2008.