

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS DE CURITIBANOS
DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA, BIODIVERSIDADE E FLORESTAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Vitória Dias Olivo

Avaliação do desempenho de um picador florestal em diferentes *layouts* e condições operacionais.

Curitibanos, SC

2023

Vitória Dias Olivo

Avaliação do desempenho de um picador florestal em diferentes *layouts* e condições operacionais

Trabalho Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Florestal do Centro de Ciências Rurais da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Marcelo Bonazza, Dr.

Curitibanos, SC

2023

Ficha de identificação da obra

Olivo, Vitória Dias

Avaliação do desempenho de um picador florestal em diferentes layouts e condições operacionais / Vitória Dias Olivo ; orientador, Marcelo Bonazza, 2023.

44 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Curitibanos, Graduação em Engenharia Florestal, Curitibanos, 2023.

Inclui referências.

1. Engenharia Florestal. 2. Biomassa Florestal. 3. Pinus taeda. 4. Energia renovável. 5. Produtividade. I. Bonazza, Marcelo. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Florestal. III. Título.

Vitória Dias Olivo

Avaliação do desempenho de um picador florestal em diferentes condições operacionais

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Florestal” e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Florestal

Curitiba, 30 de maio de 2023.



Documento assinado digitalmente
MARCELO BONAZZA
Data: 12/06/2023 15:41:49-0300
CPF: ***.641.899-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Marcelo Bonazza, Dr.
Coordenador (a) do Curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente
MARCELO BONAZZA
Data: 12/06/2023 15:41:10-0300
CPF: ***.641.899-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Marcelo Bonazza, Dr.
Orientador (a)
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
Magnos Alan Vivian
Data: 12/06/2023 09:45:50-0300
CPF: ***.088.210-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Magnos Alan Vivian, Dr.
Avaliador (a)
Universidade Federal de Santa Catarina



Documento assinado digitalmente
VINICIUS COSTA CYSNEIROS
Data: 10/06/2023 12:19:20-0300
CPF: ***.971.537-**
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof. Vinicius Costa Cysneiros, Dr.
Avaliador (a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Este trabalho é dedicado aos meus avós Graciema Tramontim Olivo (*in memoriam*) e Vitacir Luiz Olivo (*in memoriam*), que durante a vida nunca deixaram de acreditar nos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por ter me concebido saúde, força e sabedoria para chegar aonde cheguei.

À minha mãe, Carmecim, pelo apoio incondicional, amor e a paciência durante as inúmeras ligações; ao meu pai Valmir, pelo exemplo e disciplina compartilhados. Aos meus irmãos, Vitor e Lucas, por estarem presentes em momentos fundamentais nesta jornada e também a todos da família que colaboraram de alguma forma para esse momento.

Agradeço ao meu orientador Marcelo Bonazza pelos ensinamentos repassados, por nunca medir esforços para a realização desse trabalho e que mesmo longe sempre se fez presente. A Universidade Federal de Santa Catarina, campus de Curitibanos e a todos os docentes responsáveis pela minha formação, sem vocês esse sonho não se tornaria realidade.

À empresa Klabin S/A, em especial a equipe de Biomassa na qual me acolheu, compartilhou experiências e disponibilizou área e máquinas para o presente estudo.

Ao supervisor Luigi da Cas pelas produtivas e incansáveis conversas, pelo apoio e tempo disponibilizado, além da grande amizade proporcionada.

Aos meus colegas de trabalho durante o período de realização do estágio, Alana, Jessica, Iweng, Jamerson, Marcos, Ronaldo e Verônica pelas contribuições durante a realização do estudo e o companheirismo durante a minha estadia em Telêmaco Borba.

Agradeço também as minhas amigas Gabriela, Luisa e Karol que me incentivaram e sempre estiveram presente nos momentos difíceis.

Por fim agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram, o meu muito obrigada!

RESUMO

Atualmente a biomassa florestal é a segunda fonte da matriz energética do setor de árvores plantadas (14%) ficando atrás, apenas do licor negro. Esse recurso está sendo fortemente empregado visando a substituição dos combustíveis fósseis, gerando benefícios ambientais, sociais e econômicos. Trabalhos relacionados a utilização de biomassa residual no Brasil ainda são escassos, assim, o presente estudo teve como objetivo estabelecer indicadores operacionais de uso do tempo do picador na atividade, tais quais, disponibilidade mecânica (DM%), taxa de utilização do tempo disponível ($TU_{TD\%}$) e taxa de utilização do tempo programado ($TU_{TP\%}$) e também avaliar a influência dos *layouts* de pátio e operadores do carregador e picador sobre o desempenho do cavaqueamento de biomassa residual de *Pinus taeda* L. O estudo foi realizado no município de Telêmaco Borba (PR) através de um delineamento experimental de blocos casualizados (DBC) onde foi possível testar três diferentes *layouts* de pátio, sendo eles na conformidade padrão da empresa, em L e em U. Para a coleta dos dados utilizou-se um estudo de tempo e movimento em nível de ciclos, onde cada ciclo é um caminhão carregado de biomassa, o aplicativo *Time Motion Study* versão 2.3 foi utilizado no estudo. Além dos tempos produtivos e interrupções ocorridos no picador, foi contabilizado o número de garradas utilizado para completar cada ciclo, o peso líquido de biomassa residual que saía de cada pátio e o tempo de experiência dos operadores que atuaram no teste. A disponibilidade mecânica (DM%) encontrada para os *layouts* padrão em L e em U, foram respectivamente 95,6%, 94,1% e 67,2%, a baixa disponibilidade do para o *layout* em U não está relacionada ao *layout*, mas a necessidade sistemática de manutenções e outros fatores do processo, os quais não foram controlados. A TU_{TD} evidenciou que não houve atrasos significativos relacionados a operação e operador durante o período estudado. Foi possível determinar os fatores influentes na produtividade do sistema de cavaqueamento sendo eles os diferentes operadores do carregador ($p < 0,01$) e diferentes operadores do picador ($p = 0,03$). O efeito dos *layouts* não foi significativo ($p = 0,18$). Os operadores do carregador, considerando todos os *layouts*, apresentaram média de produtividade de $82,7 \text{ t PMH}_0^{-1}$, tempo efetivo por ciclo de 21,8 minutos, massa de 28,19 toneladas e 62 garradas para completar o ciclo. Já os operadores do picador, obtiveram uma média na produtividade de $85,2 \text{ t PMH}_0^{-1}$, uma massa de 28,6 toneladas por ciclo e tempo efetivo de 20,9 minutos. A fim de resultados mais precisos é recomendável estudos de amplo escopo para o acompanhamento dos indicadores operacionais. Para futuras replicações desse estudo, é importante o controle das variáveis operador, distância entre os pátios e também a configuração utilizada no cavaqueador.

Palavras-chave: Biomassa florestal. *Pinus taeda*. Resíduos florestais. Energia renovável. Estudo de tempos. Produtividade. Indicadores operacionais.

ABSTRACT

Currently, forest biomass is the second source of the energy matrix in the planted tree sector (14%), second only to black liquor. This resource is being heavily employed to replace fossil fuels, generating environmental, social, and economic benefits. Studies related to the use of residual biomass in Brazil are still scarce. Therefore, the present study aimed to establish operational indicators for the use of chipper time in the activity, such as mechanical availability (DM%), rate of utilization of available time (TUTD%), and rate of utilization of scheduled time (TUTP%). The study also aimed to evaluate the influence of yard layouts and loader and chipper operators on the chipping performance of residual biomass from *Pinus taeda* L. The study was conducted in the municipality of Telêmaco Borba (PR) using a randomized block experimental design (DBC), where three different yard layouts were tested: the standard layout of the company, L-shaped, and U-shaped. Data collection was carried out using a time and motion study at the cycle level, where each cycle represents a truck loaded with biomass. The Time Motion Study application version 2.3 was used for the study. In addition to the productive times and interruptions that occurred in the chipper, the number of grabs used to complete each cycle, the net weight of residual biomass leaving each yard, and the experience time of the operators who participated in the test were recorded. The mechanical availability (DM%) found for the standard, L-shaped, and U-shaped layouts were 95.6%, 94.1%, and 67.2%, respectively. The low availability for the U-shaped layout is not related to the layout itself but to the systematic need for maintenance and other process factors that were not controlled. The TUTD showed that there were no significant delays related to the operation and operator during the study period. It was possible to determine the influencing factors on the chipping system's productivity, namely the different loader operators ($p < 0.01$) and different chipper operators ($p = 0.03$). The effect of the layouts was not significant ($p = 0.18$). The loader operators, considering all layouts, had an average productivity of 82.7 tons PMH0-1, an effective time per cycle of 21.8 minutes, a mass of 28.19 tons, and 62 grabs to complete the cycle. The chipper operators achieved an average productivity of 85.2 tons PMH0-1, a mass of 28.6 tons per cycle, and an effective time of 20.9 minutes. In order to obtain more accurate results, it is recommended to conduct comprehensive studies to monitor operational indicators. For future replications of this study, it is important to control the variables of the operator, distance between yards, and the configuration used in the chipper.

Keywords: Forest biomass. *Pinus taeda*. Forest residues. Renewable energy. Time study. Productivity. Operational indicators.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da Fazenda Monte Alegre.....	19
Figura 2 - Talhões de realização do experimento.....	20
Figura 3 - Disposição dos resíduos no talhão após processamento.....	21
Figura 4 - Operação de baldeio de resíduos.	21
Figura 5 - Produção de biomassa residual sob os caminhões de transporte.....	23
Figura 6 – Tamanho médio dos <i>layouts</i>	24
Figura 7 - <i>Layouts</i> de pátio avaliados no experimento.....	25
Figura 8 - Disposição das máquinas e sentido de abastecimento do picador.....	25
Figura 9 - Representação percentual dos elementos do ciclo.....	32
Figura 10 - Percentual das classes de interrupção nos diferentes <i>layouts</i> estudados.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados dendrométricos dos povoamentos situados nos talhões do experimento.....	20
Tabela 2 - Maquinários utilizados na operação de biomassa.	22
Tabela 3 – Descrição dos operadores do picador e do carregador que atuaram em cada pátio de biomassa residual.....	26
Tabela 4 - Descrição dos elementos do ciclo operacional do picador estudado.....	27
Tabela 5 - Classificação das interrupções segundo IUFRO (1995).	28
Tabela 6 - Erro de amostragem relativo para os diferentes <i>layouts</i> de pátio estudados.....	31
Tabela 8 - Valores médios das covariáveis estudadas nos diferentes layouts.	35
Tabela 9 - Estatística descritiva da produtividade do cavaqueador de resíduos ($t\ PMH_0^{-1}$).....	37
Tabela 10 - Desempenho médio dos operadores do carregador de alimenta o picador considerando todos os <i>layouts</i>	37
Tabela 11- Desempenho médio dos operadores do picador considerando todos os <i>layouts</i>	38

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo Geral.....	14
1.1.2	Objetivos Específicos	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	ENERGIA RENOVÁVEL E FLORESTAS PLANTADAS.....	15
2.2	BIOMASSA FLORESTAL	16
2.2.1	Biomassa proveniente de resíduos florestais	17
3	METODOLOGIA.....	19
3.1	ÁREA DE ESTUDO	19
3.2	CONDIÇÕES OPERACIONAIS	21
3.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	24
3.4	COLETA DE DADOS	26
3.5	ANÁLISE DE DADOS	28
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	31
5	CONCLUSÃO.....	40
	REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a sociedade como um todo está focada e comprometida em assuntos relacionados a sustentabilidade, desenvolvimento econômico, social, pesquisa, inovação e tecnologia (UCZAI, 2012). De acordo com o relatório fornecido pela Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2022) as florestas plantadas possuem grande importância nesses aspectos, pois fornecem matéria prima renovável e reciclável, respeitando o meio ambiente.

Dentre os diversos usos da matéria prima oriunda de florestas plantadas, está a possibilidade de geração energética. Essa matéria prima pode ser obtida a partir dos resíduos deixados em campo após a colheita (casca, galhos, folhas e pedaços de madeira), destocamento da área reflorestada após a colheita da madeira ou a partir de florestas plantadas especificamente para finalidade energética. Empresas do ramo florestal buscam uma matriz energética limpa, diante disso são responsáveis por gerar 74,6% da energia elétrica que utilizam. Para a geração de energia 88% é oriundo de fontes renováveis, como a biomassa e licor negro (IBÁ, 2022).

Na atualidade, quando a distância de transporte até o ponto de consumo não inviabiliza a utilização da biomassa residual da colheita, sua utilização tem sido tendência, pois assim maximiza-se o aproveitamento do recurso florestal produzido em um longo período de tempo. Para a utilização desse material na forma de cavacos, comumente é necessário realizar o agrupamento da biomassa residual, o que resulta na formação de pátios ao longo dos talhões para o subsequente cavaqueamento. Posteriormente, com os pátios de biomassa florestal já formados, carregadores com grua alimentam o picador florestal que conduz os cavacos no compartimento de carga do veículo de transporte (FERRARI, 2021).

O *layout* (forma) desses pátios a campo pode ser um fator determinante do desempenho das atividades de cavaqueamento do material e conseqüentemente influenciar no custo de produção do cavaco. Outro fator que pode interferir no desempenho e custos operacionais está relacionado às habilidades do operador que realiza a alimentação do picador e aquele responsável por operar o picador (FERRARI, 2021). Nesse sentido, a realização de estudos de tempos e movimentos é uma ferramenta importante no estabelecimento dos indicadores operacionais dessas atividades, possibilitando a análise de alternativas e otimização do sistema de trabalho dos equipamentos envolvidos no processo, além de contribuir minimizando os riscos e incertezas para o planejamento operacional (MAGAGNOTTI; SPINELLI, 2012).

Tendo isso em vista e considerando que estudos relacionados à colheita de biomassa residual no Brasil ainda são escassos, esse estudo trabalha com a hipótese que o desempenho operacional da atividade de cavaqueamento de biomassa residual de *Pinus spp.* é influenciado por fatores operacionais como *layout* dos pátios a campo e diferentes operadores do picador e do carregador que o alimenta.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Avaliar a influência dos *layouts* e fatores operacionais sobre o desempenho do cavaqueamento de biomassa residual de *Pinus taeda* L..

1.1.2 Objetivos Específicos

Determinar os indicadores operacionais de uso do tempo do picador na atividade de cavaqueamento de biomassa residual de *Pinus taeda* L..

Avaliar a influência de diferentes *layouts* de pátios, operadores do picador e do carregador de biomassa residual sobre o desempenho da operação de cavaqueamento.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ENERGIA RENOVÁVEL E FLORESTAS PLANTADAS

Os recursos renováveis têm sido cada vez mais utilizados para finalidade energética, visto que a procura por práticas mais sustentáveis vem crescendo de maneira acelerada. Fontes de energia renováveis possuem grande importância na construção de sistemas descentralizados de suprimento, devido a gerar energia através do aproveitamento dos recursos naturais locais, como é o caso da biomassa residual de florestas plantadas (MULLER, 2005).

A participação das fontes de energia renováveis é importantíssima para o desenvolvimento sustentável do mundo, porém para o ingresso das mesmas na matriz energética com acesso a toda a população, precisa superar desafios, como a disponibilidade de recursos, fatores econômicos e tecnológicos, socioambientais, políticos e a compatibilidade de novas tecnologias com as antigas (UCZAI, 2012). No ano de 2021 apenas o Brasil apresentava 44,7% de fontes renováveis na matriz energética, quase metade do valor mundial, esse total percentual é dividido em 16,4% de biomassa oriunda da cana-de-açúcar, 11% hidráulico, 8,7% lenha e carvão vegetal e 8,7% de outras fontes renováveis (licor-negro, eólica e biodiesel) (BEN, 2021).

Com a alta demanda da utilização dos produtos gerados a partir das fontes não renováveis de energia ocorre uma maior emissão dos gases do efeito estufa, contribuindo para o aquecimento global do planeta. Em contrapartida, as fontes de energia renováveis fornecem segurança energética, redução dos problemas ambientais, atenuação das doenças respiratórias, entre outros benefícios que agregam no desenvolvimento sustentável (UCZAI, 2012). Dentre as fontes renováveis encontram-se as florestas plantadas que são importantes contribuintes para o suprimento energético renovável.

Em 2021 empresas do ramo florestal geraram 88% da energia que utilizam a partir fontes renováveis, sendo esses o licor negro 74% e a biomassa florestal com 14%, ambos oriundo de subprodutos do processo (IBÁ, 2022).

As florestas plantadas podem ser definidas como “florestas predominantemente compostas por árvores, de espécies nativas ou exóticas, estabelecidas por plantio ou semeadura deliberada” (FAO, 2015), essas florestas ainda apresentam fins protetivos e enfoque econômico originário da produção (OLIVEIRA & OLIVEIRA, 2018). De acordo com o Relatório Anual

da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2022), em 2021 o Brasil apresentava 9,93 milhões de hectares de florestas plantadas e 6,05 milhões de hectares destinados a conservação.

Atualmente a sustentabilidade é um assunto bastante visado e as florestas plantadas agregam diversas maneiras de ser sustentáveis, isso devido aos selos e certificações que garantem a origem do produto, cuidado com o meio ambiente e também com as comunidades envolvidas (IBÁ, 2022). Outro ponto importante é que essa área produtiva remove CO₂ da atmosfera e dá origem a produtos ambientalmente renováveis (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2018).

Sanquetta et al. (2018) estudando o comportamento das florestas plantadas num período de 26 anos, 1990 a 2016, constataram que povoamentos com uma maior produtividade, possibilitam remoções de toneladas de CO₂ da atmosfera significativamente positivas, resultado oportuno ao aumento de áreas e melhores manejos.

Produtos de origem madeireira possibilitam manter grandes quantidades de carbono estocadas por décadas, devido a que cada metro cúbico de produto madeireiro pode armazenar aproximadamente 0,9 toneladas de CO₂. Quando se opta pela utilização de resíduos florestais para atuar como fonte de energia renovável/combustível, o total de economia na emissão de CO₂ é de 1,1 toneladas para cada tonelada de madeira utilizada. O solo também é um meio de reter carbono, e essas áreas quando bem manejadas e fertilizadas atuam como drenos de metano, essa potencialidade agregada a técnicas conservacionistas e restauração de áreas apresenta boa performance na redução das mudanças climáticas (OLIVEIRA; OLIVEIRA, 2017; AMORIM, 2021).

2.2 BIOMASSA FLORESTAL

Considerada como recurso renovável de origem não fóssil, a biomassa tem como objetivo principal a produção de energia, essa produção provém de matéria orgânica, podendo ser de origem animal e vegetal (IBÁ, 2021). A biomassa pode ser categorizada de três maneiras sendo elas: biomassa energética florestal, seu produtos e subprodutos ou resíduos; biomassa energética da agropecuária, as culturas agroenergéticas e os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal; e rejeitos urbanos (BRASIL, 2019). As principais plantas voltadas para utilização como biomassa são, oleaginosas, scarídeas, amiláceas e ligocelulósicas (BEN, 2015).

Pedroso et al. (2018) em seu estudo sobre as demandas atuais e futuras da biomassa no Brasil, concluíram que o setor agrícola possui enorme potencial de expansão e diversificação

da matriz energética, já em relação as florestas essas demandam um tempo e áreas maiores para produção, porém são boas captadoras de CO₂ da atmosfera, ressaltando ainda a importância do manejo correto e o plantio de florestas energética afim de evitar o desmatamento de espécies nativas.

Atualmente a biomassa florestal vem sendo fortemente empregada em empresas do ramo florestal para abastecimento e geração de energia dentro das indústrias, uma prática que proporciona um aproveitamento dos resíduos deixados a campo, atuando em conjunto ao meio ambiente (IBÁ, 2021).

Algumas características e particularidades importantes da biomassa em relação as outras fontes de energia é a possibilidade de gerar após o processo de conversão, três tipos de combustíveis, sólido, líquido ou gasoso, característica essa que confere flexibilidade de adaptação tecnológica (MME, 2007; MORALES & MOURA, 2016).

Segundo Müller (2007) a biomassa é considerada tendência mundial pois está associada a redução de utilização dos combustíveis fósseis e conseqüentemente um redutor das emissões dos gases do efeito estufa, sem contar que se trata de uma fonte renovável da qual gera empregos a população e renda extra.

2.2.1 Biomassa proveniente de resíduos florestais

Resíduos florestais são caracterizados como o produto deixado na floresta resultante dos processos da colheita da madeira, nessa categoria enquadra-se todo o material que fica depositado no local que não apresenta um uso definido, cerca de 20% da massa das árvores. Alguns exemplos de resíduos são galhos, tocos, raízes, cascas, árvores de menores diâmetros que não serão comercializadas, árvores com anomalias e também indivíduos mortos (SOUZA, 2010).

Para a produção de biomassa a partir de resíduos com finalidade energética, o sistema de colheita de árvores inteiras (*full-tree*) é o mais indicado, isso ocorre em virtude de que os resíduos ficam dispostos em quantidades significativas na lateral do talhão, geralmente próximo as estradas o qual facilita o processo de produção de biomassa e conseqüentemente o seu transporte (CASTRO, 2011).

Atualmente considera-se que apenas 5% dos resíduos da madeira são destinados para fins energéticos, esses quando em grandes quantidades e tamanho abandonados em campo atrapalham o manejo da área. Em se tratando de resíduos de menor tamanho, como folhas,

cascas e galhos finos se devidamente manejados podem atuar como cobertura de solo, contribuir na manutenção da umidade, atuar nas propriedades físicas e químicas e ainda serem convertidos em nutrientes (MAGOSSI 2007). O tratamento e a destinação correta desses resíduos são responsáveis pela sinergia entre as áreas de colheita e silvicultura (ABREU, 2004).

Os resíduos que permanecem na floresta podem ser utilizados para os fins energéticos mediante a um sistema de operação florestal que atua separando os resíduos, picando o material e transportando até o local de utilização (MAGOSSI, 2007). Um estudo feito com resíduos florestais nos Estado Unidos (EUA) por Rummer e Seixas (2007), concluiu que a biomassa florestal proveniente dos resíduos da colheita é a matéria prima de menor custo para a produção de energia, levando em consideração no cálculo apenas a produção e o transporte do cavaco.

A utilização dos resíduos é feita de forma direta em caldeiras gerando calor e vapor de processo, esse produto apresenta alto poder calorífico e baixo custo, porém é necessário que o material destinado a esse fim não apresente nenhum contaminante químico, caso contrário pode ocorrer danos ambientais através da emissão de gases poluentes (JARA, 1987). A utilização de espécies do gênero *Pinus spp.* para geração de energia também é bastante visada, em 2021 o Brasil contava com 1,93 milhões de hectares de florestas plantadas com espécies do gênero, sendo os principais estados representantes dessa cultura Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e São Paulo totalizando 96,8% do plantio nacional (IBÁ, 2022).

Um estudo realizado por Vissoto et al. (2012) apresentou resultados superiores ao poder calorífico do resíduo de *Pinus spp.* para o de eucalipto, sendo respectivamente 18,56MJ/kg e 16,32MJ/kg esses valores denotam um bom desempenho energético e podem ser convertidos em diversas aplicações termoquímicas. O teor de cinzas também é uma variável levada em consideração pensando na eficiência da caldeira, estatisticamente os valores encontrados para diferentes espécies e matérias do gênero pinus foram iguais (SOUZA et al., 2012). Para que os resultados sejam eficientes é de suma importância que o material não esteja sendo utilizado “in natura”, precisa que ocorra uma perda de umidade. Nesse sentido, artigo demonstra que o período ideal de secagem para utilização do material sejam de a partir de um mês (ALMEIDA et al., 2010).

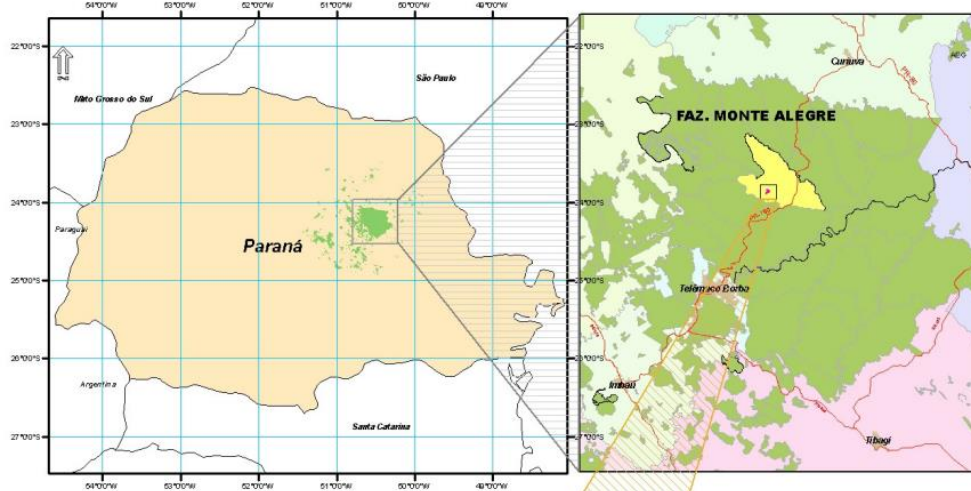
3 METODOLOGIA

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A região no qual o experimento foi conduzido está inserida dentro da Fazenda Monte Alegre de propriedade de uma empresa a qual faz parte do município de Telêmaco Borba no estado do Paraná, coordenadas 24° 13' 19" de latitude Sul, 50° 32' 33" de longitude Oeste. O mesmo está localizado na região dos campos gerais do Paraná, mesorregião Centro Oriental, e faz divisa com os municípios de Ortigueira, Ventania, Imbaú, Curiúva e Tibagi (Figura 1).

Segundo a classificação Köppen, o clima local enquadra-se como Cfa – subtropical, apresentando temperatura média do mês mais frio de 18 °C e do mês mais quente superior a 22 °C, com geadas pouco frequentes e chuvas concentradas no verão (CRUZ, 2007).

Figura 1 - Mapa de localização da Fazenda Monte Alegre.



Fonte: Fezer (2013)

O estudo foi conduzido com material de resíduo de *Pinus taeda* L. localizados em seis talhões de uma mesma região florestal (figura 2). As características do local do experimento como o relevo plano, as condições do solo e o grau de acessibilidade foram semelhantes, buscando tornar o teste o mais homogêneo possível. Esse material em campo apresentava uma distância média de 37 km da fábrica de recebimento.

Figura 2 - Talhões de realização do experimento.



Fonte: A autora (2023)

As características dos povoamentos em que foi conduzido o estudo como, volume individual médio e volume por hectare, estão descritos na tabela 1 e esses dados são resultados do processo de colheita pelo método *Full-tree*.

Tabela 1 - Dados dendrométricos dos povoamentos situados nos talhões do experimento.

Características	Talhão 01	Talhão 02	Talhão 03	Talhão 04	Talhão 05	Talhão 06
Data de processamento	06/22	05/22	05/22	07/22	06/22	07/22
Área do talhão (ha)	14,72	16,37	10,62	15,62	14,11	15,14
Idade (anos)	13	13	13	13	13	13
Árvores (n/ha)	1186	1662	1289	1344	1137	1395
Volume individual (m ³)	0,274	0,293	0,292	0,270	0,304	0,277
Volume médio (m ³ /ha)	325,6	486,6	376,9	362,8	345,3	386,8

Fonte: A autora (2023)

3.2 CONDIÇÕES OPERACIONAIS

O método de colheita *Full-tree* é o mais indicado para a produção de biomassa residual a partir de resíduos florestais, visto que o método permite a disposição dos resíduos oriundos do processamento das árvores em quantidades consideráveis nas extremidades dos talhões, facilitando o transporte (CASTRO, 2011). Na Figura 3 é possível observar essa disposição de resíduos na área do estudo.

Figura 3 - Disposição dos resíduos no talhão após processamento.



Fonte: Machado (2022)

Para a execução da operação de remonte dos resíduos para formar os pátios, a equipe de baldeio conta com tratores de apoio acoplados com carretas baldiadeiras e carregadeiras, das quais são responsáveis por carregar, descarregar e confeccionar o pátio de resíduo no formato e tamanho desejado. A Figura 4 demonstra a operação de baldeio de resíduos. Após confeccionadas os pátios de resíduos, ou também chamado de pilhas, esses permanecem no campo para que ocorra a perda de umidade por no mínimo 120 dias até que o material possa ser picado.

Figura 4 - Operação de baldeio de resíduos.






Fonte: Batista (2022)

O processo de produção de biomassa é o responsável por realizar o cavaqueamento dos resíduos e transportá-los para a fábrica. A função do cavaqueamento é reduzir o material em partículas menores, as quais irão solucionar problemas como manuseio e homogeneização quando a finalidade for a utilização na geração de energia (CANTO, 2009).

Para realizar a produção de biomassa a empresa utiliza uma escavadeira hidráulica adaptada com uma garra florestal e um picador, além de manter à frente da operação um *skidder* e uma equipe responsável pela manutenção dos equipamentos. Na Tabela 2 é possível visualizar as máquinas utilizadas, sua função na operação de cavaqueamento e algumas especificações técnicas.

Tabela 2 - Maquinários utilizados na operação de biomassa.

Máquina	Ilustração	Função	Especificações técnicas
Escavadeira Hidráulica (Doosan)		Abastecimento do picador móvel com resíduos.	DX 225 LCA Potência: 155 hp Peso: 21,5 t Material rodante: Esteiras Garra florestal: Rotobec 1m ²
Picador móvel florestal (vermeer)		Cavaqueamento dos resíduos sob caminhões.	HG6800 TX Comprimento: 14,7 m Largura: 3,1 m Peso: 41,7 t Potência: 950 hp Rotor: Facas Nº de facas: 28 Controle remoto: Transceptor com LCD
Carreta cavalo trucado		Transporte dos cavacos do campo para a fábrica.	Semirreboque Eixos: 3 Largura: 2,6 m Altura: 4,4 m Comprimento: 15 m Capacidade: 100 m ³

Skidder
(John Deere)



Apoio aos
caminhões e
laminação de
estradas.

748 H
Potência: 202 cv
Peso: 17 t
Eixo: 2
Configuração eixo:
4x4

Fonte: A autora (2023) com base na ficha técnica *Doosan, John Deere, Usicamp e Vermeer*.

A alimentação do picador é feita com o auxílio da escavadeira hidráulica adaptada com uma garra florestal, cuja as especificações foram mencionadas na Tabela 2.

Para realizar o processo de cavaqueamento a empresa utiliza um picador horizontal composto por um rotor de 28 facas, porém a operação utiliza apenas 14, visando a redução de custo e tamanho apropriado dos cavacos gerados, a composição desse rotor ainda conta com blocos, suporte e capa das facas, que realizam o corte do material no momento de encontro entre facas e contra faca do equipamento. O processo de cavaqueamento ocorre diretamente sob os caminhões, chamados como carreta cavalo trucado, que fazem o transporte dessa biomassa para a fábrica. As cavaqueiras onde o material é depositado possui capacidade de 100 m³ e piso móvel para a descarga do material. Na Figura 5 está representado o funcionamento da operação de biomassa.

Como essa operação ocorre em campo, a equipe ainda conta com um *skidder* para fazer o reboque dos veículos de transporte, realizar a raspagem superficial de estradas e servir de cabine para o operador do picador quando necessário, pois esse maquinário não conta com uma cabine. Sua operação é dada através de controle remoto, o qual comanda todas as funções de operação e deslocamento.

Figura 5 - Produção de biomassa residual sob os caminhões de transporte.



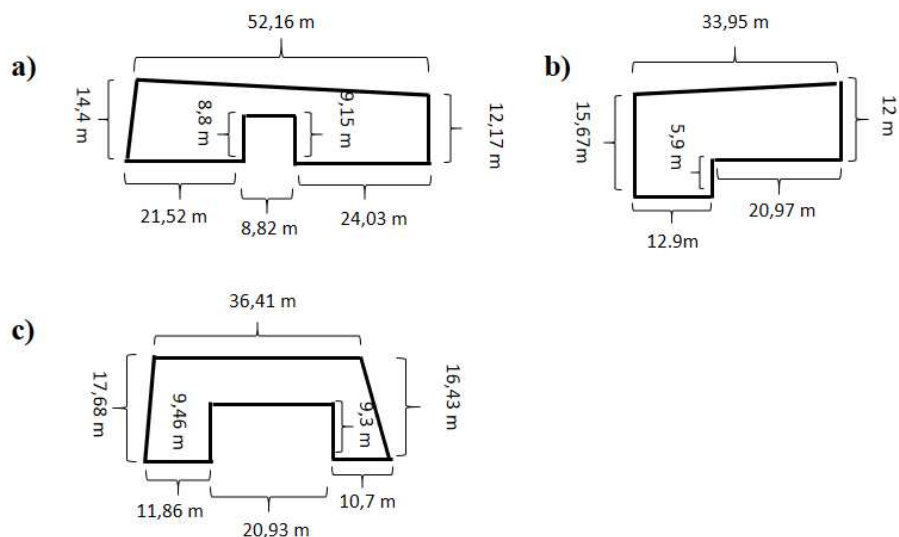
Fonte: A autora (2023)

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Inicialmente na empresa em que foi realizado o estudo, a primeira operação que chega a campo após a liberação da colheita é a equipe de tratativa de resíduos com a operação de baldeio. Nessa etapa é efetuado o remonte dos resíduos confeccionando os grandes pátios. No estudo os remontes de resíduos, ou comumente chamado de pátios, sofreram alteração nos *layouts* a fim de estabelecer um melhor modelo para o processo de cavaqueamento, o tamanho médio de cada *layout* está especificado na Figura 6. Os modelos estão representados na Figura 7 e foram denominados como:

- **Pátio Padrão:** *Layout* atual utilizado pela empresa na unidade do Paraná, onde apresenta uma pequena abertura apenas para a entrada do picador.
- **Pátio em L:** *Layout* atual usado pela empresa na unidade do estado de Santa Catarina, onde não ocorre a operação de baldeio, apenas a escavadeira com garra florestal realiza o remonte dos resíduos.
- **Pátio em U:** *Layout* estabelecido pensando na junção de dois pátios em L, visando a otimização da operação, devido ao pátio em L apresentar uma menor quantidade de material.

Figura 6 – Tamanho médio dos *layouts*



Fonte: A autora (2023)

Legenda: a) *layout* padrão; b) *layout* L; c) *layout* U.

Figura 7 - *Layouts* de pátio avaliados no experimento.

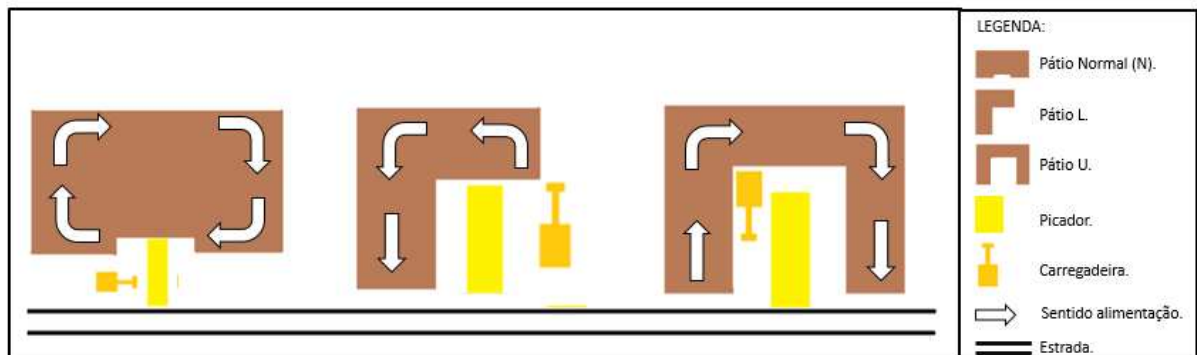


Fonte: A autora (2023)

Legenda: a) pátio em *layout* padrão; b) pátio em *layout* L; c) pátio em *layout* U.

Para a execução do estudo contou-se com um picador e apenas uma escavadeira com garra florestal fazendo a alimentação. A disposição dessas máquinas para cada um dos *layouts* bem como o sentido que o carregador abastecia o picador, foi pré-estabelecido como mostra a Figura 7.

Figura 8 - Disposição das máquinas e sentido de abastecimento do picador.



Fonte: A autora (2023)

O delineamento utilizado no experimento foi o de blocos casualizados (DBC), pois as condições locais não são homogêneas e podem ter efeito significativo nos resultados. O *layout* padrão e em L tiveram 4 repetições a campo, enquanto o *layout* em U teve apenas 3 repetições. Essa diferença ocorreu devido a operação ter realizado o cavaqueamento de um pátio em U sem a devida coleta de dados.

3.4 COLETA DE DADOS

A coleta de tempo dos dados da operação nos pátios teste, geralmente acontecia em dias de chuvas. Nesses dias a operação não podia trabalhar em pátios localizados em estrada de difícil acessibilidade ao transporte e mudava a operação para locais com estrada cascalhada e de fácil acesso, sendo favorável para a saída dos caminhões, minimizando o impacto na produção de biomassa em toneladas.

Como a coleta dependia das condições climáticas, foi utilizado os dois turnos de operação, onde o 1º turno iniciava as 07:30h e finalizava as 17h e o 2º turno iniciava as 17h e finalizava as 01:56h. Devido à dificuldade em padronizar apenas um turno de trabalho, a variável operador do picador como também do carregador não pode ser controlada, participando do estudo 6 operadores do picador (OP) e 8 operadores de carregador (OC), os quais estão descritos na Tabela 3 nos respectivos *layouts* em que trabalharam.

Tabela 3 – Descrição dos operadores do picador e do carregador que atuaram em cada pátio de biomassa residual.

<i>Layout</i>	Operador picador	Operador carregador
Repetição 1 - Padrão	OP6	OC1
Repetição 2 - Padrão	OP6	OC5
Repetição 2 - Padrão	OP5	OC8
Repetição 3 - Padrão	OP5	OC8
Repetição 4 – Padrão	OP3	OC6
Repetição 1 - L	OP6	OC1
Repetição 1 - L	OP1	OC4
Repetição 2 - L	OP6	OC3
Repetição 2 - L	OP2	OC3
Repetição 3 - L	OP4	OC7
Repetição 4 - L	OP6	OC5
Repetição 4 - L	OP3	OC6
Repetição 1 - U	OP3	OC4

Repetição 1 - U	OP2	OC3
Repetição 2 - U	OP5	OC8
Repetição 2 - U	OP4	OC7
Repetição 3 - U	OP6	OC5
Repetição 3 - U	OP4	OC2

Fonte: A autora (2023)

Legenda: OP = operador picador; OC = operador carregador.

O experimento foi realizado por meio de um estudo de tempos e movimento do picador, contabilizando-se o tempo em trabalho produtivo e interrupções. As amostras dentro de cada *layout* foram representadas por cada veículo de transporte completamente carregado de cavacos de biomassa residual. O estudo foi conduzido ao nível de elemento do ciclo (Tabela 4), no qual o ciclo de trabalho é dividido em fases parciais para a coleta dos tempos.

Tabela 4 - Descrição dos elementos do ciclo operacional do picador estudado.

Sigla	Elemento	Descrição
CV	Cavaqueamento	Tempo consumido pela máquina durante o cavaqueamento do material.
FSM	Funcionando Sem Material	Tempo consumido pela máquina funcionando, porém sem material para picar.
MO	Movimentação	Tempo consumido pela máquina movimentando dentro do pátio para conseguir completar o ciclo.

Fonte: A autora (2023)

Os tempos de cada elemento do ciclo operacional das atividades foram registrados utilizando o método de cronometragem de tempo individual, que conforme Barnes (1977) o cronometro é detido em cada ponto de medição. A utilização desse método contou com o auxílio do programa *Time motion study* versão 2.3 instalado em um *tablet* da marca Samsung.

A produção em toneladas de cada *layout* foi obtida através do peso líquido da carga de cada caminhão que passava na balança do pátio da fábrica. Como dados adicionais para confrontar com os dados do picador, foi contabilizado a quantidade de garradas que o operador do carregador utilizava para completar cada um dos ciclos.

3.5 ANÁLISE DE DADOS

Como não houve um estudo piloto para a definição do número suficiente de ciclos a ser coletado, com o auxílio da equação 1 foi calculado o erro amostral para o total dos ciclos obtidos em campo (BONAZZA, 2019).

$$E = \frac{t * \sqrt{\sigma^2} * 100}{\sqrt{n} * \bar{x}} \quad (1)$$

Em que: E= Erro de amostragem (%); $t = t$ de Student para o nível de 5% de significância; σ^2 = variância da produtividade (t PMH_0^{-1}); n = número de ciclos de trabalho coletados; \bar{x} = média da produtividade (t PMH_0^{-1}).

O cálculo dos indicadores operacionais, primeiramente teve as interrupções separadas por classes determinadas através da metodologia IUFRO (1995), que pode ser observada na Tabela 5. Para o presente estudo foram consideradas como manutenção as paradas ocorridas tanto no picador quanto no carregador, visto que interfere na parada de todo o sistema e consequentemente na produtividade da operação.

Tabela 5 - Classificação das interrupções segundo IUFRO (1995).

Classificação	Descrição
Tempo de Refeição	Interrupções relacionada ao tempo usado para a alimentação dos trabalhadores;
Tempo de repouso e necessidades pessoais	Utilizada para pausas, repouso e necessidades pessoais e fisiológicas dos trabalhadores;
Tempo de interferência	Trabalho em que deve esperar a conclusão de outras tarefas sobre as quais é dependente, estrangulamento do sistema de produção;
Tempo de deslocamento	Tempo usada para o deslocamento e transporte de máquinas e trabalhadores para um novo local de trabalho;
Tempo de planejamento	Tempo usado para desenvolver a estratégia operacional, como reconhecimento da área, <i>checklist</i> , etc.;
Tempo preparatório operacional	Preparação do sistema para prosseguir com a operação, como a troca de operadores;
Tempo de decorrente de alterações operacionais	Tempo utilizado para configurar e reiniciar o sistema de produção;
Tempo de interrupção	Tempo do sistema interrompido devido a fatores externos como por exemplo passagem de carros da comunidade.

Tempo de manutenção	Tempo de serviço utilizado para manutenção corretiva de componentes danificados, como reparos, aguardar peças, mecânicos, troca de facas etc.;
Tempo de reabastecimento	Reabastecer a máquina, como transporte para reabastecimento;
Tempo de trabalho auxiliar	Realizar outras funções auxiliares permitindo que o sistema de produção continue.

Fonte: Adaptada de Da Cas (2017)

Posteriormente, foram calculados o tempo de trabalho programado, o tempo de trabalho disponível e tempo de trabalho produtivo, pelas equações 2, 3 e 4.

$$SMH = \text{Tempo Total Efetivo} + \text{Tempo Total de Interrupção} \quad (2)$$

$$AMH = SMH - \text{Tempo de manutenção} \quad (3)$$

$$PMH0 = SMH - \text{Tempo Total das Interrupções} \quad (4)$$

Em que: SMH = tempo de trabalho programado; AMH = tempo de trabalho disponível; PMH0 = tempo de trabalho produtivo.

Por fim, foram calculados os indicadores operacionais sendo eles, a disponibilidade mecânica (DM %), taxa de utilização do tempo disponível (TU_{TD} %) e taxa de utilização do tempo programado (TU_{TP} %), pelas equações 5, 6 e 7, respectivamente.

$$DM (\%) = \left(\frac{AMH}{SMH} \right) * 100 \quad (5)$$

$$TUTD(\%) = \left(\frac{SMH - \text{Total das interrupções}}{AMH} \right) * 100 \quad (6)$$

$$TUTP(\%) = DM * TUTD \quad (7)$$

Em que: SMH = tempo de trabalho programado; AMH = tempo de trabalho disponível; PMH0 = tempo de trabalho produtivo; DM = disponibilidade mecânica; TUTD = taxa de utilização do tempo disponível; TUTP = taxa de utilização do tempo programado.

A produtividade de cada *layout* por hora máquina produtiva também foi calculado (P_{PMHO} ($t PMH_0^{-1}$)), levando em consideração a equação de número 8, onde as toneladas de biomassa que saiam do pátio foram divididas pela quantidade de horas produtivas (PMH_0).

$$P_{PMHO} (t PMH_0^{-1}) = \frac{m}{PMH_0} \quad (8)$$

Em que: m = massa em toneladas; PMH_0 = tempo produtivo.

Os dados relacionados ao desempenho operacional das atividades, que seriam os tempos de ciclo de trabalho e produtividade, junto com a quantidade de garradas usadas para completar cada ciclo, peso dos caminhões e a massa de biomassa por garrada foram inicialmente verificados por meio da estatística descritiva (média, desvio padrão, coeficiente de variação).

Subsequente os dados foram submetidos a análise de normalidade pelo teste Shapiro-Wilk ao nível de 5% de probabilidade de aderência normal. A influência da produtividade para cada um dos *layouts* foi analisada através de estatística paramétrica, sendo conduzido uma análise de variância para testar os efeitos *dos layouts* e dos blocos sobre a produtividade e se os mesmos seriam significantes no teste. Em seguida foi aplicado uma análise de variância para saber se os operadores, tanto do picador como do carregador, poderiam causar efeito significativo na produtividade do experimento.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o estudo foram amostradas aproximadamente 35,7 horas de trabalho programado. Em todos os *layouts* de pátios testados a campo houve erro de amostragem inferior a 10% (Tabela 6), o que evidencia a precisão do estudo. Neuhaus (2017) em sua análise operacional de extração de madeira de *Pinus taeda* L. com *forwarder* encontrou erro de amostragem de 9,22%. Cabe ressaltar que no *layout* padrão o erro de amostragem foi inferior devido ao maior número de ciclos amostrados ($n = 34$ ciclos).

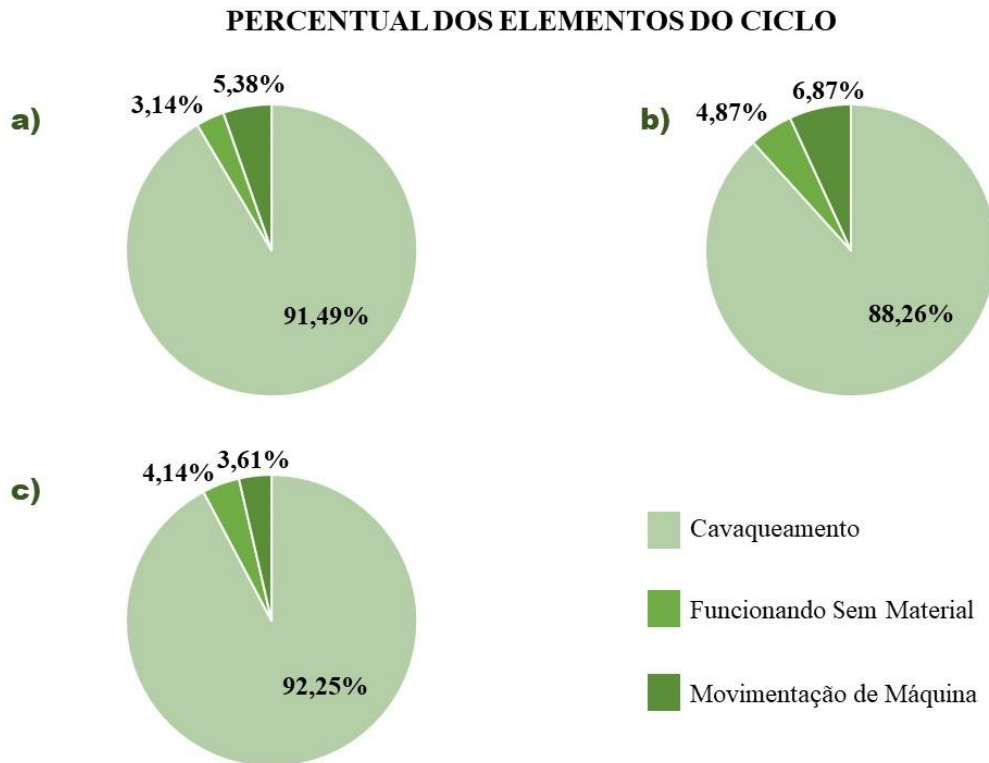
Tabela 6 - Erro de amostragem relativo para os diferentes *layouts* de pátio estudados.

<i>Layout</i>	Total de ciclos	Erro Amostral (%)
Padrão	34	6,65
L	22	8,60
U	21	8,07
Total	77	4,58

Fonte: A autora (2023)

A etapa mais representativa do ciclo operacional em todos os *layouts* estudados foi o tempo gasto no cavaqueamento, pois foi a etapa com maior representação no consumo de tempo dentre os elementos dos ciclos analisados (Figura 8). Ao avaliar a operação de cavaqueamento, Oro (2015) infere uma representação média de 93% para este elemento do ciclo de trabalho, valor próximo aos encontrados nesse estudo. Cabe destacar que, quando comparado aos demais tratamentos testados, o *layout* em L apresentou o menor percentual de tempo despendido no cavaqueamento de biomassa residual (88,26%), em decorrência do maior consumo de tempo em movimentação da máquina.

Figura 9 - Representação percentual dos elementos do ciclo.



Fonte: A autora (2023)

Legenda: a) Elementos do ciclo – *layout* padrão; b) Elementos do ciclo – *layout* L; c) Elementos do ciclo – *layout* U.

A redução do tempo consumido no cavaqueamento da biomassa residual pode ser alcançada por meio de alteração na velocidade de avanço da esteira de alimentação do picador. Contudo, nesse estudo o equipamento estava trabalhando com apenas metade do número de facas da configuração original (14 das 28 facas), o que exigia adequação da velocidade operacional de trabalho. Além disso, outro fator que pode influenciar no desempenho dessa operação é a umidade do material que está sendo processado, Ferrari (2021) concluiu em seu estudo que a qualidade do material como o teor de umidade está atrelada ao tempo de estocagem do material em campo, apresentando efeito significativo sobre o método de cavaqueamento. Entretanto, a biomassa residual no presente estudo apresentava qualidade e tempo de estocagem similar entre os diferentes *layouts* estudados.

Já o tempo de movimentação de máquina refere-se aos ajustes de posicionamento realizados no picador em relação a pilha de resíduos. Assim, diante dos valores encontrados é possível inferir uma maior agilidade na movimentação do picador quando o *layout* em U foi utilizado, seguido do *layout* padrão e em L. O *layout* em L apresentou o maior consumo de tempo em movimentação da máquina, pois, de forma geral, nessa configuração a biomassa

residual ficava disposta mais longe em relação ao picador, exigindo maior tempo em deslocamentos para possibilitar o processo de alimentação com o carregador.

O picador funcionou sem material entre 3,14% e 4,87% do tempo efetivo de trabalho nos diferentes *layouts* analisados, tendo a menor representatividade dentre os elementos do ciclo de trabalho. Esses valores também são considerados próximos aos reportados por Oro (2015), que inferiu uma representação de 4% desse elemento do ciclo de trabalho em seu estudo.

A disponibilidade mecânica (DM) da operação de cavaqueamento foi baixa para o *layout* em L, quando comparada aos demais (Tabela 7), o que também se refletiu em um baixo valor da taxa de utilização do tempo programado (TU_{TP}).

Tabela 10 - Indicadores operacionais de uso do tempo para a operação de cavaqueamento de biomassa residual de *Pinus taeda* L.

<i>Layout</i>	DM (%)	TU _{TD} (%)	TU _{TP} (%)
Padrão	95,6	86,2	82,4
L	94,1	92,4	87,0
U	67,2	86,9	58,4

Fonte: A autora (2023)

Embora a DM e TU_{TP} tenham apresentado diferenças entre os diferentes *layouts* testados, vale ressaltar que a comparação entre os mesmos não é válida, pois os menores valores encontrados para o *layout* em U são decorrentes do maior tempo despendido em interrupções ligadas à manutenção do carregador que alimenta o picador. No entanto, esse efeito não está diretamente ligado ao *layout* do pátio de biomassa e sim à necessidade sistemática de manutenções ou a outros fatores do processo, os quais não foram controlados nesse estudo.

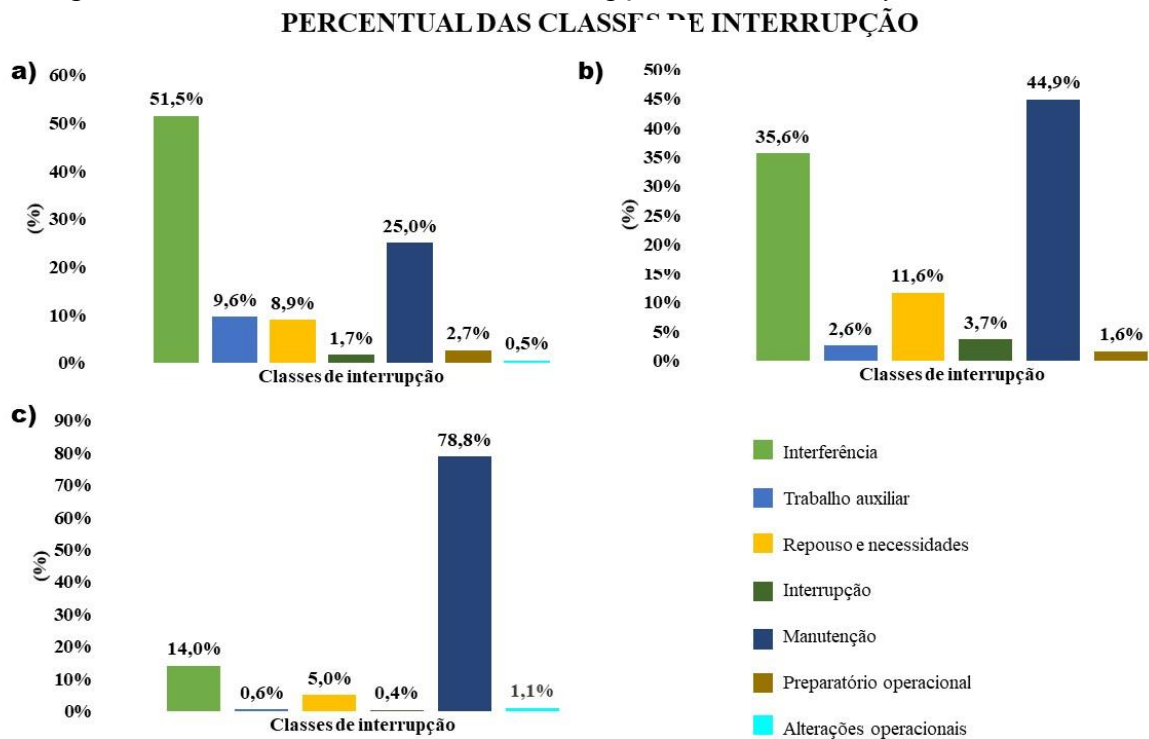
Canto *et al.* (2011) reportam TU_{TP} de 51,9% para um sistema de cavaqueamento de ponteiros de eucalipto avaliando cinco turnos de trabalho. Esse valor é consideravelmente inferior ao encontrado no presente estudo e também foi ocasionado pelo alto tempo despendido com interrupções relacionadas à manutenção, que ocuparam o maior percentual do tempo improdutivo (28,9%). Esses resultados indicam a importância da gestão de manutenção da operação, pois falhas mecânicas em qualquer um dos equipamentos do sistema de cavaqueamento comprometem a produção, sejam no picador ou no carregador de alimentação.

A DM encontrada nos *layouts* em L e padrão tiveram valores elevados quando comparadas aos valores reportados por Barreta *et al.* (2005) e Oro (2015), que encontraram

valores de 85% e 86%, respectivamente. A TU_{TP} desses dois *layouts* foi elevada, retratando que a TU_{TD} também foi alta, assim como a DM reportada anteriormente.

Em todos os *layouts* estudados a TU_{TD} foi adequada, evidenciando que não houve atrasos significativos relacionados à operação e operador durante o período estudado. Cabe destacar que, no caso do *layout* em U, o baixo valor da TU_{TP} foi devido à baixa DM, que por sua vez decorreu do elevado tempo despendido com manutenções do carregador, as quais representaram 78,8% do tempo improdutivo, conforme mostrado na Figura 9c.

Figura 10 - Percentual das classes de interrupção nos diferentes *layouts* estudados.



Fonte: A autora (2023)

Legenda: a) Interrupções – *layout* padrão; b) Interrupções – *layout* L; c) Interrupções – *layout* U.

No *layout* de pátio padrão, a classe interferência apresentou 51,5% de representatividade e a classe de manutenção ocupou 25% do tempo. A interferência se refere ao tempo aguardando o veículo de transporte para início do cavaqueamento ou realizar as movimentações durante o processo. Enquanto a manutenção foi devido a problemas no carregador, aguardando mecânico e a troca de facas, que ocorre sempre que há desgaste ou quebra das facas devido a materiais contaminantes presente nas pilhas como pedras ou metais. A troca de facas nesse modelo de pátio levou em torno de 21 minutos.

Para o *layout* em L a classe com maior percentual foi a manutenção apresentando 44,92% do tempo. Nesse caso, o tempo despendido em manutenção foi referente ao aguardo da

manutenção do carregador e a troca de facas, que nesse caso demorou 17 minutos. Essa diminuição no tempo de troca está vinculada a quantidade de mecânicos presente para realizar a atividade e também o tempo de experiência na função. De maneira geral, em todos os *layouts* estudados as interrupções mais significativas foram relacionadas à manutenção e a espera de veículos de transporte, resultados que são corroborados por Oro (2015) e Desroches et al. (1993).

Segundo Spinelli e Visser (2019), o processo de cavaqueamento de biomassa diretamente sob os veículos de transporte está atrelado a uma das principais causas para as interrupções. Quando essa prática é adotada, embora não seja necessário um carregamento posterior do veículo de transporte, há maior suscetibilidade a atrasos organizacionais, pois há dependência da presença do veículo de transporte *in loco* para que o cavaqueamento da biomassa possa ocorrer. Assim, em situações com número fixo de veículos de transporte envolvidos na logística, grandes distâncias para entrega do cavaco podem ser causadoras desse tipo de atraso.

Cabe destacar, que embora esse tipo de estudo mostre um detalhamento das principais interrupções e indicadores operacionais do processo de cavaqueamento da biomassa, a amostragem empregada permite apenas tirar conclusões acerca do período estudado. Assim, para finalidade de uso desses indicadores na gestão do processo, estudos de amplo escopo são recomendados, mesmo tendo menor grau de detalhamento na coleta dos dados (MAGAGNOTTI; SPINELLI, 2012).

Durante o estudo o cavaqueador de biomassa residual apresentou uma produção total de 2.217,8 t, sendo 1.021,7 t do pátio padrão, 601,92 t para do pátio em L e 593,46 t para do pátio em U. O valor médio de carga nos veículos de transporte variou de 27,4 a 30,0 t (Tabela 8) e a análise de variância demonstrou não haver efeito significativo dos diferentes blocos e *layouts* analisados na massa de cavacos carregada ($p > 0,05$).

Tabela 7 - Valores médios das covariáveis estudadas nos diferentes layouts.

<i>Layout</i>	Nº de ciclos	Massa (t/ciclo)	Massa total (t/layout)	Nº de garradas/ciclo	Massa por garrada (t/garrada)
Padrão	34	30,0 (± 3,5)	1.021,7	71 (± 15)	0,45 (± 0,12)
L	22	27,4 (± 3,3)	601,92	62 (± 12)	0,46 (± 0,10)
U	21	28,3 (± 4,2)	593,46	59 (± 13)	0,49 (± 0,07)

Fonte: A autora (2023)

Legenda: (±) = Desvio padrão da média %.

O efeito dos operadores do picador e carregador foi significativo em relação a massa de cavacos carregada nos veículos de transporte ($p < 0,01$), demonstrando que alguns deles optavam por encher mais o compartimento de carga do veículo de transporte. Contudo, essa prática exige cuidado, pois o peso bruto total combinado desses veículos é regulamentado por lei, a qual inferem sobre a carga máxima admitida em cada composição veicular de transporte, preconizando o bom uso de estradas municipais, estaduais e federais, a resolução nº 882, de 13 de dezembro de 2021 do Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN, 2021) estabelece que para o tipo de veículo utilizado no teste e dimensão da cavaqueira inferior a 16 m é possível transportar um peso bruto total combinado de 45 t ou 25 t líquida.

Os valores médios para o número de garradas por carga não se mostrou dependente dos diferentes blocos e *layouts* ($p > 0,05$). Embora a massa média por garrada também não tenha sido influenciada pelos *layouts* ($p > 0,05$), essa variável foi dependente dos blocos ($p = 0,04$). Isso pode estar relacionado às diferentes quantidades de material acumulado em cada local onde os blocos foram alocados, a qual por sua vez está ligada às características do povoamento que foi colhido previamente.

Entretanto, tanto para o número de garradas por carga, quanto para a massa por garrada, o efeito mais importante foi relacionado ao operador do carregador que alimentava o picador ($p < 0,01$). Esse resultado pode estar atrelado a fatores como a idade do operador, perfil comportamental e o tempo de experiência na função. Pagnussat (2015) realizou um estudo avaliando o perfil comportamental no processo de seleção e desempenho de operadores em trator florestal e obteve resultados significativos, onde operadores com perfil não compatível ao cargo apresentavam uma menor produtividade. A autora ainda concluiu que um perfil comportamental de referência para a função precisa apresentar características como atenção aos detalhes, evitar os riscos na operação, atender aos prazos, seguir regras, ser paciente, ter orientação técnica e ser adequado a tarefas repetitivas. Atrelado a finalidade de manter a produtividade do operador é recomendado que a cada período de tempo o mesmo passe por um uma reciclagem operacional através dos treinamentos técnicos (PAGNUSSAT, 2015).

A produtividade da operação variou entre 74,5 e 92 t PMH_0^{-1} , com coeficientes de variação entre 17,7% e 19,1% (Tabela 9) e apresentou normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk ($p = 0,25$). Embora a amplitude entre as médias aparente ser grande nos diferentes *layouts*, o efeito dos blocos e *layouts* estudados não foi significativo sobre a produtividade do sistema de cavaqueamento ($p = 0,06$; 0,18, respectivamente), é importante considerar uma segunda análise para o efeito dos blocos.

Tabela 8 - Estatística descritiva da produtividade do cavaqueador de resíduos (t PMH₀⁻¹).

<i>Layout</i>	N	P_{PMHO} (t PMH₀⁻¹)	Desvio padrão	CV (%)	Min.	Máx.
Padrão	34	85,5	16,3	19,1	52,1	116
L	22	74,5	14,4	19,4	47,7	104,1
U	21	92,0	16,3	17,7	58,1	121,6

Fonte: A autora (2023)

Legenda: N: número de ciclos; Desvio: desvio padrão; CV: coeficiente de variação; Min.: mínimo; Máx.: máximo.

As diferenças na produtividade da operação estão relacionadas aos diferentes operadores do picador ($p = 0,03$), mas sobretudo, aos operadores do carregador que alimenta o picador, o qual foi o principal fator a ser considerado para a análise ($p < 0,01$). Os valores de produtividade e covariáveis estudadas são mostrados na Tabela 10.

Tabela 9 - Desempenho médio dos operadores do carregador de alimenta o picador considerando todos os *layouts*.

	N	TT ef. (min)	Massa (t/ciclo)	P_{PMHO} (t PMH₀⁻¹)	Nº gar.	t./gar	± erro padrão	Experiência (anos)
OC1	11	21,8	29,86	83,6	48	0,62	4,03	1,6
OC2	2	23,6	26,54	69,1	58	0,46	9,45	7,2
OC3	7	22,6	28,31	75,9	66	0,43	5,05	4,0
OC4	9	18,1	30,46	101,7	63	0,49	4,45	4,8
OC5	7	20,2	29,05	88,6	65	0,45	5,05	8,0
OC6	14	24,2	26,86	67,6	79	0,34	3,57	13
OC7	9	18,4	23,91	82,5	47	0,51	4,45	8,7
OC8	18	20,1	30,54	92,8	70	0,44	3,15	7,6
Total	77	21,8	28,19	82,7	62	0,47	4,90	6,86

Fonte: A autora (2023)

Legenda: OC = operadores do carregador; N = número de ciclos; TT ef = tempo total efetivo em minutos; P_{PMHO} = produtividade em toneladas por hora máquina produtiva; Nº gar. = quantidade de garradas necessária para completar um ciclo; t./gar = média de tonelada por garrada de cada operador.

A produtividade média variou de 69,1 a 101,7 t PMH₀⁻¹ considerando os diferentes operadores do carregador de alimentação. Os operadores OC4 e OC8 apresentaram os maiores valores de produtividade (Tabela 10), porém também apresentaram os maiores valores para massa de cavacos por carga, o que contribuiu para maiores valores de produtividade. Embora esses operadores tenham apresentado excelentes resultados de produtividade, a empresa em que o estudo foi desenvolvido preconiza que as cargas tenham no máximo 25 toneladas com

variação de 1,5 toneladas para mais ou para menos para não sobrecarregar os veículos de transporte e estar de acordo com a lei, restrição essa que não foi atendida nesse caso.

O operador OC6 apresentou a menor produtividade média, pois teve a menor massa média de biomassa por garrada e o maior consumo de tempo em cada ciclo de trabalho. Esse consumo de tempo foi 33,7% superior quando comparado ao operador mais produtivo e 14,7% superior em relação à média de todos os operadores.

A empresa onde o estudo foi conduzido tem como pressuposto para contratar os operadores do carregador de alimentação após o treinamento inicial, que a produtividade deles seja de no mínimo 70 t PMH_0^{-1} . Assim, tanto o operador OC6, quanto o OC2 não atenderam a produtividade mínima durante o estudo e apresentam tempo de experiência na função de 13 e 7,2 anos, respectivamente. Como medidas para melhorar essa produtividade, é importante entender os fatores que estão afetando esses operadores e as possíveis ações que possam causar um efeito positivo. Pesquisas sobre as expectativas da operação, gestão, condições de trabalho, ergonomia das máquinas, entre outros, são pontos a serem analisados e levados em consideração para tomar medidas, juntamente com a periodicidade da realização de reciclagens (TELES, 2015).

Devido aos operadores do picador apresentarem efeito significativo também foi avaliado o tempo de experiência de cada um como é possível observar na Tabela 11. O operador OP2 apresentou uma menor produtividade (78,4 t PMH_0^{-1}) e um maior tempo despendido para cada ciclo, conseqüentemente é o operador que apresenta um menor tempo de experiência na área, apenas 3 meses.

A produtividade média dos operadores do picador apresentou uma variação entre 78,4 e 92,8 t PMH_0^{-1} . Os operadores com a maior produtividade foram respectivamente OP5 e OP1 ambos apresentaram um menor tempo de carga, em torno de 20 minutos, porém uma massa (t ciclo) superior ao permitido, em relação a experiência de cada um, essa variou sendo o OP1 o mais experiente com 7,9 anos e o OP5 recém saído do treinamento, com apenas 5 meses. Pagnussat et al. (2014) concluiu em um estudo que operadores mais jovens obtém um melhor desempenho no treinamento e uma maior habilidade no desenvolvimento da função.

Tabela 10- Desempenho médio dos operadores do picador considerando todos os *layouts*.

	N	TT ef. (min)	Massa (t/ciclo)	P_{PMHO} (t PMH_0^{-1})	± desvio padrão	Experiência (anos)
OP1	2	20,0	30,1	90,3	19,5	7,9
OP2	2	23,6	28,1	78,4	22,3	0,3

OP3	21	21,2	28,1	82,2	17,1	1,1
OP4	11	20,1	25,6	79,5	14,8	7,2
OP5	18	20,1	30,5	92,8	15,6	0,5
OP6	23	20,4	29,2	87,8	15,8	0,9
Total	77	20,9	28,6	85,2	17,5	2,9

Fonte: A autora (2023)

Legenda: OP = operadores do picador; N = número de ciclos; TT ef = tempo total efetivo em minutos; P_{PMHO} = produtividade em toneladas por hora máquina produtiva.

De forma geral, os valores de produtividade desse estudo se sobressaíram em relação ao encontrado por Oro (2015), que foi de 59,2 t PMH₀⁻¹. O autor cita que as condições do estudo, como exemplo o tempo de experiência na operação, a qualidade do material a ser picado, condições climáticas e configuração do picador são possíveis fatores que interferem na produtividade do cavaqueamento, explicando as diferenças encontradas entre esses estudos.

Já Ferrari (2021), que estudou o cavaqueamento de biomassa residual em situação similar, infere valor médio de 81,4 t PMH₀⁻¹, que está dentro da amplitude das médias do presente estudo. Outro estudo que pode ser citado nesse contexto, foi o conduzido por Mola-Yudego et al. (2015) na América do Norte, os quais obtiveram resultados de produtividade máxima de 91,0 t PMH₀⁻¹. Em seu estudo foi avaliado picador de tambor configurado com o método de cavaqueamento de facas, confirmando a possibilidade de produtividade elevadas nesse tipo de operação.

Cabe destacar que no cenário ideal, o estudo deveria contar com a amostragem de todos os operadores, tanto do picador quanto do carregador de alimentação, em todos os *layouts* estudados, o que não foi possível a campo, pois a dinâmica operacional da empresa não permitiu que isso fosse executado. Além disso, em decorrência das diferentes características dos povoamentos florestais colhidos previamente nos blocos estudados, não foi possível a confecção de *layouts* idênticos, o que também contribuiu com efeito “ruído” na análise da influência dos *layouts* sobre o desempenho da operação. Porém, mesmo assim o estudo traz contribuições para o direcionamento de melhorias que possibilitem a otimização da produção de biomassa nas condições estudadas e subsidia o planejamento da atividade de cavaqueamento na empresa.

5 CONCLUSÃO

A produtividade do sistema de cavaqueamento não foi influenciada pelos diferentes *layouts* estudados. Contudo, os efeitos relacionados aos operadores do picador e sobretudo do carregador de alimentação foram significativos sobre essa variável.

Através dos resultados encontrados também foi possível estabelecer os indicadores operacionais no período estudado (DM%; TU_{TD}%; TU_{TP}%). Porém para uma maior confiabilidade nesses indicadores, recomenda-se estudos de amplo escopo para o acompanhamento temporal desses.

Como recomendação para futuras replicações desse estudo, é importante o controle das variáveis operador, distância entre os pátios e também a configuração utilizada no cavaqueador.

REFERÊNCIAS

- ABREU, L. B. Fatores a se considerar para a integração da colheita com novos plantios florestais – a experiência da internacional paper. In. Seminário de atualização sistemas de colheita de madeira e transporte florestal, 13., 2004. Curitiba. **Anais**. UFPR – FUPEF, 2004. p.335-381.
- ALMEIDA, N. F. de *et al.* Avaliação das propriedades dos resíduos de *Pinus patula* em diferentes períodos de armazenamento visando a cogeração de energia. **Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 2, p. 269-274, 30 jun. 2010. Universidade Federal do Paraná.
- AMORIM, V. da S. S. de . *et al.* The environmental benefits of eucalyptus planting: literature review . **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 10, n. 11, p. 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i11.19604. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/19604>. Acesso em: 15 set. 2022.
- BARRETA, A.; GUZZO, P.; OLIVEIRA, J.; ARAGÃO, V.; NADAL, R.; Desenvolvimento de um módulo de picagem de ponteira de eucalipto para utilização como biomassa pela Jari Celulose. **Biomassa e Energia**, Viçosa v. 2, n. 4, p. 331-340, 2005.
- BEN. **Balanco Energético Nacional 2015 – ano base 2014**, Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2015, p. 292. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-127/topico-97/Relat%C3%B3rio%20Final%202015.pdf>> Acesso em: 14 set. 2022.
- BEN. **Balanco Energético Nacional 2022 – ano base 2021**, Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, 2022, p. 292. Disponível em: <<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>> Acesso em: 14 set. 2022.
- BJÖRHEDEN, R. THOMPSON, M.A. 1995. An International Nomenclature for Forest Work Study. In DB Field (Ed.), Proceedings of IUFRO 1995 S3:04 subject area: 20th World Congress (pp. 190-215). Tampere, Finland: IUFRO.
- BONAZZA, M. **Alternativas operacionais no desbaste e corte final em florestas de *Pinus taeda***. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.
- BRASIL – Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional**. Brasília: MME, 2019, p. 303.
- CANTO, J. L. **Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia**. 2009. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.
- CANTO J.L.; MACHADO C.C.; SEIXAS, F.; SOUZA, A.P.; SANT’ANNA, C.M. Avaliação de um sistema de cavaqueamento de ponteiras de eucalipto para aproveitamento energético, **Revista Árvore**, Viçosa, v. 35, n. 6, p. 1327 – 1334, 2011.

CASTRO, G. P. **Estudo, revisão e discussão de conceitos e temas abordados na colheita florestal mecanizada**. 2011. 107 f. Monografia – Faculdade Jaguariaíva, Jaguariaíva, 2011.

Conselho Nacional de Trânsito (CONTRAN). **Resolução nº 882, de 13 de dezembro de 2021**. Estabelece os limites de pesos e dimensões para veículos que transitem por vias terrestres, referenda a Deliberação CONTRAN nº 246, de 25 de novembro de 2021, e dá outras providências. Brasília : Contran, 2021. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/conteudo/contran/resolucoes/Resolucao8822021.pdf>>. Acesso em: 10 mai 2023.

CRUZ, Gilson Campos Ferreira da. Alguns Aspectos do Clima dos campos gerais. In: MELO, Mário Sérgio de *et al* (ed.). **Patrimônio Natural dos Campos Gerais do Paraná**. Ponta Grossa: Uepg, 2007. p. 59-72.

DESROCHERS, L.; PUTTOCK, D.; RYANS, M. The economics of chipping logging residues at roadside: a study of three systems, **Biomass and Bioenergy**, v. 5, n. 6, p. 401-411, 1993.

FAO. **Global forest resources assessment FRA 2015: how are the world's forests changing?** Rome, 2015. 54 p. Disponível em: <<https://www.fao.org/3/i4793e/i4793e.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2022.

FERRARI, L. H. **Método de cavaqueamento e tempos de estocagem no desempenho operacional e na qualidade da biomassa energética de Pinus taeda L**. 2021. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Universidade do Estado de Santa Catarina, Lages, 2021.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **IBÁ 2021**. Brasília, DF, 2021. 93 p. Relatório anual 2020. Disponível em: <<https://iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorioiba2021-compactado.pdf>>. Acesso em: 15 set. 2022.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **IBÁ 2022**. Brasília, DF, 2022. 96 p. Relatório anual 2021. Disponível em: <<https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-anual-iba2022-compactado.pdf>>. Acesso em: 26 mai. 2022.

JARA, E. R. P. **A geração de resíduos pelas serrarias**. São Paulo: IPT, 1987. (Boletim ABNT, n. 59).

MAGAGNOTTI, N.; SPINELLI, R. **Good practice guidelines for biomass production studies**. Via Madonna del Piano, Sesto Fiorentino/FI/Italy: CNR IVALSA, 2012.

MAGOSSI, D. C. **A produção florestal e a industrialização de seus resíduos na região de Jaguariaíva – Paraná**. 2007. 88 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

MME – Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília, 2007

MOLA-YUDEGO, B.; PICCHI, G.; RÖSER, D.; SPINELLI, R. Assessing chipper productivity and operator effects in forest biomass operations. **Silva Fennica**, v. 49 n. 5, 14p., 2 jul. 2015.

MORALES, M. M.; MOURA, J. C. Dendroenergia e termotecnologias. **Energia na agricultura**, [S. l.], v. 31, n. 2, p. 138–147, 2016. DOI: 10.17224/EnergAgric.2016v31n2p138-147. Disponível em: <https://actaarborea.fca.unesp.br/index.php/energia/article/view/2188>. Acesso em: 14 set. 2022.

MÜLLER, M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação de eucalipto em Itamarandiba, MG**. 2005. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. **Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental**. Brasília, DF: Embrapa, 2017. p. 112.

OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. **As florestas plantadas e sua importância no contexto econômico e socioambiental do Brasil**, Encontro Brasileiro de Silvicultura, 4., 2018, Ribeirão Preto. Anais. Brasília, DF: Embrapa; Colombo: Embrapa Florestas, 435-439 p. 2018.

ORO, D. **Análise técnica de um cavaqueador e caracterização energética de cavacos de biomassa da colheita de madeira**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2015.

PAGNUSSAT, M. B. **Perfil comportamental no processo de seleção e desempenho de operadores do trator florestal harvester**. 2015. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Florestais, Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2015.

PAGNUSSAT, M. B. et al. Desempenho de operadores de diferentes idades no treinamento com simulador virtual *forwarder*. **Enciclopédia Bioesfera: Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 10, n. 18, p. 3842-3852, jul. 2014.

PEDROSO, L. L. de A. *et al.* Demandas atuais e futuras da biomassa e da energia renovável no Brasil e no mundo / Current and future demands for biomass and renewable energy in Brazil and worldwide. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 4, n. 5, p. 1980–1996, 2018. DOI: 10.34117/bjdv4n5-231. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/231>. Acesso em: 15 sep. 2022.

RUMMER, R.; SEIXAS, F. Colheita de resíduos florestais para bionergia nos EUA. In: Simpósio brasileiro sobre colheita e transporte florestal, 8., 2007, Uberlândia **Anais**. Uberlândia: SIF, 2007. p. 19-40.

SANQUETTA, C. R. *et al.* Dinâmica em superfície, volume, biomassa e carbono nas florestas plantadas brasileiras: 1990-2016. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 152-160, 2018.

SOUZA, M. M. *et al.* Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 325-334, 28 jun. 2012. Universidade Federal do Paraná. <http://dx.doi.org/10.5380/ufpr.v42i2.26593>. Disponível em:

<https://revistas.ufpr.br/floresta/article/view/26593/18434>. Acesso em: 08 abr. 2023. <http://dx.doi.org/10.5380/rf.v40i2.17822>.

SPINELLI, R.; VISSER, R.J.M. Analyzing and estimating delays in wood chipping operations, **Biomass and Bioenergy**, v. 33, p. 429-433, 2009.

TELES, M. T. de A. **Evolução produtiva, perfil e percepção das condições de trabalho de operadores de máquinas de colheita florestal**. 2015. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

UCZAI, P. Energias Renováveis: riqueza sustentável ao alcance da sociedade. **Revista**, Brasília, MG: Câmara dos deputados, n.10, 2012, p. 273.

VISSOTTO, J. P. *et al.* Caracterização de Pinus, Eucaliptus, Casca de Eucaliptus e Resíduos Florestais e de Destoca para fins energéticos. In: Congresso Nacional De Engenharia Mecânica, 7., 2012, São Luís. **Anais [...]** . São Luís: Abcm, 2012. p. 1-10.