

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS - CECA

THAÍS SOUZA MARQUES

**AVALIAÇÃO DE TEMPOS E MOVIMENTOS DO FORWARDER NA EXTRAÇÃO
DE TORAS DE EUCALIPTOS PARA CELULOSE E BIOMASSA**

RIO LARGO / AL
2025

THAÍS SOUZA MARQUES

**AVALIAÇÃO DE TEMPOS E MOVIMENTOS DO FORWARDER NA EXTRAÇÃO
DE TORAS DE EUCALIPTOS PARA CELULOSE E BIOMASSA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Florestal.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Vânia Aparecida de Sá.

RIO LARGO / AL
2025

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 – 1512

M357a Marques, Thaís Souza.

Avaliação de tempos e movimentos do forwarder na extração de toras de eucaliptos para celulose e biomassa. / Thaís Souza Marques. – 2025.

26 f.: il.

Orientador(a): Vânia Aparecida de Sá.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) – Graduação em Engenharia Florestal, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2025.

Inclui bibliografia

1. Colheita florestal. 2. Logística florestal. 3. Produtividade. 4. Eficiência operacional. I. Título.

CDU: 630*2

FOLHA DE APROVAÇÃO

Thaís Souza Marques

AVALIAÇÃO DE TEMPOS E MOVIMENTOS DO FORWARDER NA EXTRAÇÃO DE TORAS DE EUCALIPTOS PARA CELULOSE E BIOMASSA

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC apresentado à Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA, como pré-requisito para obtenção do grau de Bacharel(a) Engenheiro(a) Florestal.

Data de Aprovação: 21/11/2025

Banca Examinadora



Documento assinado digitalmente

VÂNIA APARECIDA DE SÁ

Data: 24/11/2025 08:20:09-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Vânia Aparecida de Sá

Prof.(a) Dr.(a)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL

Campus de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA

(Orientador/a)



Documento assinado digitalmente

MARILIA FREITAS DE VASCONCELOS MELO

Data: 24/11/2025 16:05:41-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Marília Freitas de Vasconcelos Melo

Prof.(a) Dr.(a)

Universidade Federal de Alagoas – UFAL

Campus de Engenharias e Ciências Agrárias – CECA



Documento assinado digitalmente

ANDREZA RAFAELLA CARNEIRO DA SILVA DOS SANTOS

Data: 24/11/2025 18:05:47-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Andreza Rafaella Carneiro da Silva dos Santos

Ma.

Bracell - BA

RESUMO

Uma indústria multinacional do setor de celulose visando aproveitar toda a matéria prima, investiu na produção de energia a partir da biomassa de eucalipto. Dando início ao sistema de colheita mecanizada mista, onde toda a madeira de eucalipto é aproveitada, tanto as árvores verdes em pé quanto as secas e mortas encontradas no chão do talhão. Neste contexto, têm-se notado a dificuldade de trabalhar com o baldeio de toras destinadas a biomassa. Informações à cerca da capacidade da operação, desempenho do forwarder e eficiência da colheita, são de grande importância no planejamento e gerenciamento de sistemas mecanizados auxiliando nas tomadas de decisão visando a sua otimização. Este trabalho teve como objetivo avaliar os tempos, movimentos, a produtividade média da operação do baldeio mecanizado de toras destinadas para celulose e biomassa e identificar etapas do processo que mais consumiam tempo no ciclo e as principais dificuldades da operação. O baldeio de toras para celulose apresentou melhor produtividade ($66,2 \text{ m}^3 / \text{h}$), sendo 3,2 % mais produtivo que o de biomassa ($64,1 \text{ m}^3 / \text{h}$). As etapas que mais consumiram tempo no ciclo foram as mesmas para biomassa e celulose: pegando feixe (24,32 %), deslocamento carregado (18,91 %) e grua cheia (15,29 %), e na celulose pegando feixe (23,90 %), deslocamento carregado (22,28 %) e grua cheia (19,04 %). Biomassa apresentou gargalos claros em etapas de manuseio e ajuste, sendo os mais críticos pegando feixe e arrumando feixe (7,7 %). Celulose apresentou uma melhor distribuição entre as etapas, sendo mais eficiente, mas ainda enfrenta gargalos com movimentação de carga.

Palavras-chave: colheita florestal; logística florestal; produtividade; eficiência operacional.

ABSTRACT

A multinational company in the pulp and paper sector, aiming to utilize all raw materials, invested in energy production from eucalyptus biomass. This initiated a mixed mechanized harvesting system, where all eucalyptus wood is used, both standing green trees and dry, dead trees found on the ground in the field. In this context, difficulties have been noted in handling the skidding of logs destined for biomass. Information regarding operational capacity, forwarder performance, and harvesting efficiency is of great importance in the planning and management of mechanized systems, aiding in decision-making aimed at their optimization. This study aimed to evaluate the times, movements, and average productivity of mechanized log hauling operations for pulp and biomass, and to identify the most time-consuming process steps in the cycle and the main operational difficulties. Log hauling for pulp showed better productivity (66.19 m³/h), being 3.2% more productive than biomass hauling (64.13 m³/h). The most time-consuming steps in the cycle were the same for biomass and pulp: picking up bundles (24.32%), loaded movement (18.91%), and full crane (15.29%), and for pulp picking up bundles (23.90%), loaded movement (22.28%), and full crane (19.04%). Biomass showed clear bottlenecks in handling and adjustment steps, with the most critical being bundle picking and bundle arrangement (7.7%). The cellulose production process showed better distribution across stages, making it more efficient, but it still faces bottlenecks with cargo handling.

Keywords: forest harvesting; forest logistics; productivity; operational efficiency.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO	11
2.1 Introdução aos Equipamentos Florestais e seu Papel na Colheita	11
2.2 Características dos Sortimentos Carregados	12
2.3 Práticas de Transporte e Movimentação da Madeira no Sistema CTL	13
2.4 ANÁLISE OPERACIONAL DO FORWARDER	14
2.4.1 Funcionamento e Principais Características do Autocarregador	14
2.4.2 Exemplos de Operação de Forwarder em Contextos Florestais.....	15
2.5 Estudo de Tempos e Movimentos	15
3 MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Local de Estudo e Matéria-Prima.....	17
3.2 Sistema de Colheita e Extração da Madeira	17
3.3 Coleta dos Dados	18
3.4 Análise dos Dados.....	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	20
4.1 Distribuição dos Tempos Totais por Etapa do Ciclo do Carregamento	20
4.2 Produtividade	23
5. CONCLUSÃO.....	25
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26

1. INTRODUÇÃO

A mecanização das operações de colheita florestal ganha força a partir da década de 1990, impulsionada pela expansão das áreas cultivadas e pela abertura econômica que intensifica as importações, elevando a competitividade do setor. Esse cenário contribuiu para o aumento dos custos de mão de obra e evidenciou a necessidade de sistemas produtivos mais eficientes, seguros e ergonomicamente adequados. Como resultado, as empresas florestais passaram a investir de forma acelerada em soluções mecanizadas, buscando reduzir a dependência de trabalho manual e padronizar as operações de campo.

Esses avanços foram impulsionados também pela necessidade de garantir um fornecimento contínuo e crescente de madeira, em um contexto de forte expansão das indústrias de papel, celulose e painéis. Simultaneamente, a pressão por redução dos custos de produção exigiu níveis cada vez maiores de produtividade e confiabilidade operacional, tornando a mecanização intensiva uma estratégia essencial para a sustentabilidade econômica do setor. Assim, fatores como a melhoria das condições de trabalho, o aumento da eficiência e a maior previsibilidade dos processos consolidam a mecanização como elemento central no modelo moderno de colheita florestal (BRAMUCCI e SEIXAS, 2002).

Atualmente, as atividades de colheita e transporte florestal representam cerca de 50% dos custos finais da madeira entregue na indústria. Diante disso, torna-se essencial a busca constante por novas técnicas e tecnologias que tornem o processo mais racional, com foco no melhor aproveitamento do material lenhoso (JACOVINE, 2005).

Entre as etapas da colheita, a extração da madeira se destaca como uma das mais complexas, sendo influenciada por diversos fatores, como: a experiência dos operadores, sortimento das toras, volume médio das árvores, características do terreno, distância de extração e condições climáticas (MACHADO, 2014). Em alguns países, o custo dessa etapa pode ser até 25 vezes maior que o do transporte principal, evidenciando sua criticidade no processo (BIRRO et al., 2002).

Um planejamento eficiente da extração deve buscar a máxima produtividade, garantindo também a segurança dos trabalhadores, a redução de danos ao solo, a preservação dos corpos d'água e a minimização dos impactos às árvores remanescentes e cepas. Além disso, é fundamental assegurar que toda a madeira cortada seja retirada, independentemente do volume, mantendo sua qualidade (DYKSTRA e HEINRICH, 1996).

A avaliação dos sistemas de colheita é uma ferramenta essencial para a identificação de falhas, ajustes no processo produtivo e melhoria no uso dos recursos. Também permite a comparação entre diferentes métodos e equipamentos, contribuindo para decisões mais eficientes (LOPES et al., 2009).

Nesse contexto, a análise do desempenho das máquinas de colheita tem ganhado destaque. Estudos voltados para a compreensão da capacidade produtiva e das variáveis que interferem no rendimento operacional tornaram-se cada vez mais relevantes, com o objetivo de desenvolver técnicas que aumentem a produtividade e reduzam os custos (SILVA et al., 2003).

Dentre os principais equipamentos utilizados na extração florestal, destaca-se o forwarder (ou trator florestal autocarregável). Esse equipamento realiza a extração pelo sistema de baldeio, no qual as toras são transportadas de dentro do talhão até os carregadores, utilizando uma plataforma de carga, sem contato direto com o solo. O forwarder é equipado com uma grua hidráulica e uma garra, e possui tração 4x4, 6x6 ou 8x8, podendo ser de pneus, semi-esteiras ou esteiras, conforme as condições do terreno (Guia Prático de Operações Florestais na Colheita de Madeira, 2012).

Estudos realizados por Malinovski et al. (2006) identificaram que a produtividade dos forwarders é fortemente influenciada pelo sortimento da madeira, pois diferentes dimensões exigem maior organização das toras na caixa de carga, podem aumentar o número de viagens da máquina, além de comprometer a ocupação total da área útil de carga da garra.

Uma grande indústria do setor de celulose, percebeu que estava tendo muitos desperdícios na colheita, visando o aproveitamento completo de seus plantios de

eucalipto, resolveu investir na produção de biomassa para geração de energia. Com isso, aplicou o conceito de colheita mista, utilizando o sistema “cut to length” (toras curtas), com o auxílio do harvester para derrubar e processar as madeiras em pé e também aproveitar as árvores caídas no chão e o baldeio sendo realizado por forwarder.

A destinação final da matéria-prima florestal influencia diretamente as características do processo de colheita e o desempenho das operações mecanizadas. Na produção de celulose, prioriza-se a qualidade da fibra e a limpeza das toras, evitando impurezas como cascas e materiais orgânicos que possam comprometer o rendimento do cozimento e a alvura do produto final. Já a madeira destinada à biomassa admite maior variação dimensional e inclusão de resíduos lenhosos, como galhos, cascas e pontas. Essas diferenças nas exigências e na composição da carga impactam a eficiência operacional do sistema de colheita, justificando a necessidade de análises específicas para cada destino produtivo.

Os objetivos deste trabalho foram mensurar e comparar os tempos e movimentos do forwarder na extração de toras de madeiras de eucaliptos destinadas à produção de celulose e biomassa, respectivamente, com a finalidade de comprovar que é significativa a diferença produtiva do carregamento para os dois tipos de sortimento, identificar as principais dificuldades operacionais se existirem e propor soluções de melhorias.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Introdução aos Equipamentos Florestais e seu Papel na Colheita

A mecanização assume um papel ímpar na indústria florestal atual, conferindo-lhe a celeridade e a precisão requeridas para atender à demanda global por produtos derivados de madeira. De acordo com Cunha e Santos (2023), o aparato tecnológico empregado na colheita compõe-se de um sistema de máquinas de alta performance, que atuam em coordenação para o abate, processamento e transporte da matéria-prima. No sistema cut-to-length¹, em especial, preconiza a otimização do produto no próprio local de abate, sendo o forwarder o seu veículo de extração por excelência (MORAES, 2022)

O sistema (CTL) “cut-to-length” ou “toras curtas” é um modelo de colheita florestal altamente mecanizado e opera basicamente com duas máquinas principais, o harvester que derruba a árvore, descasca, desgalha e secciona as toras em comprimento padronizado (geralmente de 2 a 7 metros) e enleira as toras em feixes ao lado da trilha de operação e o forwarder é o equipamento responsável por coletar as toras processadas dentro do talhão, transportá-las suspensas na caixa de carga e realizar o baldeio até o carreador, local que as toras são empilhadas.

No uso desse sistema aplicado ao corte raso com harvester, destacam-se três métodos principais de operação: o convencional, o longitudinal e o setorial, também chamado de “espinha de peixe”. Há ainda a colheita transversal, utilizada em situações específicas, como ao longo de estradas, sob linhas de energia ou em áreas próximas a zonas de preservação, onde é necessário maior controle operacional.

No método convencional, envolve o uso de máquinas que operam de forma tradicional, muitas vezes com passagens que podem não ser as mais eficientes em termos de otimização de tempo ou minimização de danos, dependendo do contexto.

O método longitudinal, refere-se ao movimento das máquinas no mesmo sentido das linhas de plantio. Isso geralmente permite uma colheita mais eficiente e com menos perdas, pois segue o fluxo natural da cultura. Sendo muito eficaz para povoamentos com árvores de maior diâmetro e em cenários nos quais o operador

¹ O termo Cut-to-Length (em português, "Cortar no Comprimento"), ou Processo de Toras Curtas, refere-se a um sistema de colheita florestal mecanizado e eficiente.

precisa realizar uma avaliação mais detalhada da qualidade das toras, já que permite melhor visualização e controle durante o processamento.

Por sua vez, o método setorial (ou "Espinha de Peixe") a área é dividida em setores, e a operação da máquina segue um padrão que lembra a estrutura de uma espinha de peixe, com condutos principais e ramificações laterais em ângulo (cerca de 45° em algumas aplicações). É um sistema que busca otimizar o acesso e a logística dentro de uma área específica, apresenta ampla aplicabilidade e costuma ser eficaz na maioria das condições de campo, facilitando a organização das trilhas e otimizando os movimentos da máquina.

E no transversal, envolve a operação das máquinas em um sentido perpendicular às fileiras de plantio. Este método é frequentemente utilizado em áreas específicas ou em condições onde a colheita longitudinal não é viável, como em estradas ou bordas de campos, mas pode aumentar as perdas em certas culturas.

Tanto o método longitudinal quanto o setorial tendem a oferecer altos níveis de produtividade, contribuindo para um desempenho mais eficiente do harvester e para maior regularidade da operação.

O forwarder como responsável pela coleta das toras, não apenas transporta a madeira já seccionada, mas também minimiza a fricção e o dano às toras, um atributo de relevância para o valor final do sortimento, seja ele direcionado à celulose ou à biomassa (RODRIGUES, 2021). A escolha do equipamento leva em consideração também a topografia do terreno, a distância a ser percorrida e o volume de produção desejado. Entender como o forwarder trabalha possibilita uma gestão mais eficiente do recurso florestal (LEITE, 2023).

2.2 Características dos Sortimentos Carregados

O processamento das toras na etapa de colheita é afetado pelas características da matéria-prima conforme sua destinação final, para a fabricação de celulose, o foco recai sobre a qualidade da fibra e a limpeza da tora, sendo fundamental evitar impurezas como cascas e materiais orgânicos que possam degradar a *performance* do cozimento e a alvura do produto final (MARTINS e FERREIRA, 2024).

Em contrapartida, a madeira destinada à biomassa admite maior variação dimensional e inclusão de resíduos lenhosos, tais como galhos e pontas (LOPES e MENDES, 2022). Esta distinção na composição da carga, portanto, é um elemento que justifica a investigação pormenorizada da máquina em cada cenário produtivo

2.3 Práticas de Transporte e Movimentação da Madeira no Sistema CTL

A eficácia da extração de madeira pelo *forwarder* está estritamente vinculada ao planejamento espacial das trilhas e à disposição dos sortimentos ao longo do talhão. A conformação das rotas de tráfego deve ser estabelecida *a priori*, respeitando a declividade máxima admissível e o espaçamento entre as linhas de extração, visando otimizar a distância média de *skidding* e, por consequência, o tempo de ciclo. O traçado das trilhas opera como um divisor de águas entre a proficiência logística e a indução de prejuízos ambientais irreversíveis (ALMEIDA, 2023).

O arranjo da madeira, frequentemente realizado pelo *harvester*² ou por abatedores manuais, dita a complexidade da operação de carregamento e a capacidade de enchimento do *bunk*³ (PEREIRA, 2021). Toras empilhadas de forma ordenada e em locais acessíveis reduzem o tempo de manobra do guindaste, um aspecto que se mostra mais sensível na extração de madeira para celulose, onde a uniformidade das pilhas é usualmente superior (LIMA e BARBOSA, 2020). Por outro lado, o material para biomassa, muitas vezes fragmentado ou de geometria heterogênea, impõe um maior obstáculo à manipulação do operador.

A sincronização entre o *harvester* (na função de processamento) e o *forwarder* (na função de extração) constitui um fator de risco para a produtividade total do sistema CTL (SILVA e SANTOS, 2023). Desequilíbrios no fluxo de trabalho podem resultar em tempos de espera prolongados para o *forwarder*, elevando o custo operacional e diminuindo a rentabilidade do investimento (SIQUEIRA, 2022). O

² O Harvester é o equipamento mecanizado responsável pela fase inicial da colheita no sistema Cut-to-Length (CTL).

³ O termo Bunk refere-se à estrutura de suporte ou berço de carga acoplada ao forwarder. É o compartimento destinado ao transporte das toras traçadas

monitoramento em tempo real, mediante sistemas de geoposicionamento veicular (GPS), oferece uma ferramenta para a gestão dinâmica da frota, diminuindo estes impedimentos logísticos (ZARATE et al., 2023).

2.4 ANÁLISE OPERACIONAL DO FORWARDER

2.4.1 Funcionamento e Principais Características do Autocarregador

O *forwarder* representa a manifestação da tecnologia de extração de madeira de alta *performance*, sendo concebido para operar em trilhas de baixa resistência e transportar volumes substanciais. O seu design articulado, combinado com eixos múltiplos e pneus de banda larga, confere-lhe uma capacidade de tração superior e uma distribuição da pressão sobre o solo mais homogênea, diminuindo, em princípio, os danos edáficos. O guindaste de carregamento (grua), que é parte integrante do veículo, exige do operador uma perícia notável para manipular as toras e dispor a carga no *bunk* de maneira eficiente (PEREIRA, 2021).

A proficiência desta maquinaria é ligada à sua capacidade de otimizar o tempo de ciclo, sendo os períodos de carregamento e descarregamento as atividades que mais demandam análise e aprimoramento. A metrologia cronométrica revela que as ações não produtivas, como o reposicionamento da máquina e a espera, podem consumir uma porção não desprezível do tempo laboral total, acarretando reveses consideráveis na economia do empreendimento (VIANA et al., 2019).

Por outro lado, a aplicação da cronometria no âmbito florestal oferece uma lente analítica para decompor o ciclo de extração em seus elementos singulares, permitindo a identificação de gargalos e a padronização de métodos (SIQUEIRA, 2022). O ciclo do *forwarder* é classicamente segmentado em: 1) Viagem Vazio (do carreador até a tora); 2) Carregamento (operação do guindaste); 3) Viagem Carregado (da tora ao carreador); e 4) Descarregamento (deposição da carga).

Em investigações realizadas em povoamentos de eucalipto, foi demonstrado que a fase de carregamento frequentemente absorve a porção majoritária do tempo total do ciclo, mormente em áreas com baixa densidade de toras ou em terrenos de difícil acesso (OLIVEIRA et al., 2022). A madeira destinada à biomassa, por possuir

um sortimento menos uniforme, pode exigir um tempo superior para o enchimento do *bunk*, quando contrastada com as toras padronizadas para a celulose. A acurácia na distinção destes tempos, para cada tipo de produto, outorga a chave para o cálculo preciso da produtividade (LOPES e MENDES, 2022).

2.4.2 Exemplos de Operação de Forwarder em Contextos Florestais

Em regiões de colheita intensiva, como as áreas de reflorestamento no Brasil, a gestão das rotas e a alocação de equipamentos são pautadas em dados de produtividade histórica (SOUZA, 2021). Estudos de caso demonstram que a adoção de balizas e sistemas de navegação a bordo pode reduzir o tempo de "Viagem Vazio" em até 10%, ao guiar o operador pelo caminho mais curto e com menor resistência (LIMA e BARBOSA, 2020). Estes ganhos marginais, quando acumulados, representam uma melhora significativa no desempenho anual do equipamento.

Observou-se, ainda, que a organização prévia das pilhas de madeira no talhão influencia substancialmente o tempo de carregamento (VIANA et al., 2019). Em operações para biomassa, onde o sortimento tende a ser mais disperso, o operador do *forwarder* despende um tempo superior de manobra do guindaste e de reposicionamento da máquina para agrupar o material (FERREIRA et al., 2024). Em contraste, o padrão mais rigoroso das toras para celulose facilita a garra da grua, resultando em ciclos de carregamento mais rápidos e previsíveis (SILVA e SANTOS, 2023). Tais exemplos corroboram a necessidade de se diferenciar as análises de tempos para cada tipologia de produto final.

2.5 Estudo de Tempos e Movimentos

O estudo de tempos e movimentos é uma técnica clássica de análise do trabalho, desenvolvida inicialmente por Frederick W. Taylor, em 1881, na usina Midvale Company, com o objetivo de determinar o tempo necessário para a execução eficiente de uma tarefa. Posteriormente, Frank e Lillian Gilbreth complementaram o método ao introduzirem a análise dos movimentos, visando eliminar esforços desnecessários e aumentar a produtividade (SILVA, 1997).

De acordo com Barnes (1977), o estudo de tempos e movimentos consiste na observação sistemática das atividades de trabalho, com o propósito de desenvolver métodos mais eficientes, padronizar operações, determinar o tempo padrão de execução e orientar o treinamento dos trabalhadores.

Nas operações florestais, especialmente na colheita de madeira, esses estudos têm papel fundamental, pois permitem identificar gargalos operacionais, otimizar os ciclos de trabalho e reduzir tempos improdutivos. Segundo Oliveira et al. (2009), a aplicação dessa técnica possibilita o aperfeiçoamento dos métodos de operação, contribuindo para o aumento da produtividade e para a redução dos custos de produção.

Conforme Andrade (1998), o método da cronometragem é uma das principais ferramentas empregadas para mensurar o tempo gasto em cada etapa da colheita florestal, identificando os ciclos operacionais do corte e baldeio. Esse processo fornece informações essenciais para o planejamento e a melhoria das condições operacionais.

Para Simões e Fenner (2010), o estudo das variáveis que influenciam a produtividade nas operações de colheita e transporte de madeira é indispensável à otimização do sistema produtivo. A análise de tempos e movimentos oferece dados concretos para o planejamento, o controle operacional e a avaliação do desempenho das equipes e dos equipamentos.

Segundo Silva et al. (2004), a principal aplicação desse tipo de estudo está na determinação de tempos padrão, que podem ser utilizados para o controle da eficiência da mão de obra, definição de metas de produção, elaboração de orçamentos e implantação de programas de incentivo. Além disso, o método auxilia na avaliação da eficiência de máquinas e no dimensionamento do número ideal de trabalhadores e equipamentos no sistema de colheita florestal.

Dessa forma, o estudo de tempos e movimentos constitui uma ferramenta essencial para o planejamento e a otimização das operações florestais, permitindo o uso racional dos recursos e a maximização da produtividade durante as etapas de baldeio de madeira.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local de Estudo e Matéria-Prima

Quanto à natureza do estudo, tratou-se de uma pesquisa de campo com características de estudo de caso, conduzida em ambiente operacional real, respeitando as condições e restrições naturais das atividades florestais.

O trabalho foi realizado nas áreas de colheita de uma empresa florestal do setor de produção de celulose, localizada no município de Aparecida do Taboado - MS. A área de estudo estava situada à 20°05'12" de latitude e a 51°05'37" de longitude, com 381 m de altitude. O clima característico da região é o tropical semiúmido, com duas estações bem definidas: um verão quente e chuvoso e um inverno seco, com precipitação média anual de 1.500 mm, temperatura média anual variando aproximadamente entre 15 °C e 33 °C. O solo predominante é o Latossolo Vermelho – Amarelo frequentemente associado a Areias Quartzosas (ou Neossolos Quartzarênicos).

O estudo ocorreu em povoamentos florestais com clones de *Eucalyptus* spp., em talhões homogêneos, com idade de 11 anos. O espaçamento do plantio adotado foi o de 3x2,5 metros, em relevo plano. O regime de manejo era o corte raso, de primeiro corte aos 11 anos de idade, cuja madeira colhida era destinada para produção de celulose e de biomassa. Sendo destinadas para celulose as árvores verdes em pé e para biomassa, árvores caídas no chão do talhão e árvores em pé secas ou “zumbis” (metade verde e metade seca).

3.2 Sistema de Colheita e Extração da Madeira

O sistema de colheita da madeira adotado pela empresa era o de “toras curtas”. As operações de derrubada e processamento das árvores eram realizadas pelo trator florestal harvester. Cada eito foi abatido respeitando o alinhamento do talhão e levando 4 linhas, nos dois sortimentos de madeira, o processo de descascamento e desgalhamento só foi executado na madeira para celulose. As toras foram traçadas com comprimento mínimo de 3,50 m e o máximo de 6,80 m para os dois produtos, e os feixes empilhados em ramais dentro do talhão. Em seguida, o trator florestal autocarregável forwarder executava a extração, na forma

de baldeio sem contato das toras no chão. Os feixes eram retirados sequencialmente dos ramais e colocados na caixa de carga até atingir o seu limite de carregamento, e logo em seguida essa carga era empilhada na beira do carreador, separando os sortimentos celulose e biomassa, respectivamente.

O modelo de forwarder utilizado foi o Elephant King de pneus, do fabricante Ponsse, com motor MB OM 906 LA Stage IIIA com potência de 205 kw, dimensões de comprimento (10.150 – 11.060 mm) e largura (3.070 – 3.210), peso 23.700 kg, com uma grua K121 com alcance de 8 a 10 m, torque de giro 48 KNm, garra tamanho 42 e com capacidade de carga de 20 toneladas.

3.3 Coleta dos Dados

O método de tempos e movimentos seguiu as recomendações de Barnes (1977) e Gilbreth (1917), adaptadas à mecanização florestal conforme Machado (2014) e Minette e Souza (2008).

Cada ciclo operacional foi cronometrado utilizando cronômetro digital e com precisão de segundos. O ciclo foi subdividido nas seguintes etapas:

1. Deslocamento vazio (DV) – movimento do forwarder do carreador até dentro do talhão;
2. Grua vazia (GV);
3. Pegando feixe (PF) – pegando feixe no chão dentro do talhão;
4. Deslocamento entre feixes (DF) – movimentação do forwarder entre feixes dentro do talhão;
5. Grua cheia (GC);
6. Soltando feixe (SF) – soltando feixe dentro da caixa de carga;
7. Arrumando feixe (AF) – no chão do talhão ou dentro da caixa de carga;
8. Deslocamento carregado (DC) – movimento do equipamento de dentro do talhão até o carreador.

O turno tinha duração de 8,8h diária, iniciando-se à 07:00h e encerrando-se à 16:48h, com intervalo de 1h para a refeição. Foi utilizada a mesma máquina e operador, com 10 anos de experiência, durante todo o processo dentro de um mesmo talhão. A cada 15 segundos, era observado que etapa estava sendo realizada e pontuado na tabela durante uma hora, posteriormente esses apontamentos foram convertidos para minutos.

Para cada ciclo (viagem), foram registradas as informações referentes ao produto transportado, operador, distância média percorrida, condições do terreno e condições climáticas, de modo a permitir o controle de possíveis interferências externas. Os dados foram coletados durante 5 dias não sequenciais, as observações e apontamentos ocorreram no período da manhã e da tarde, por um período de 1 a 2h. Foram coletados 40 ciclos completos para as extrações de toras para celulose e para biomassa, respectivamente.

O tempo total de ciclo (T_c) foi obtido pela soma dos tempos de cada etapa. A produtividade horária (P) pela equação (1).

$$P = \frac{V}{T_c} \times 60 \quad (1)$$

em que:

P = produtividade (m^3/h);

V = volume médio transportado por ciclo (m^3);

T_c = tempo médio de ciclo (min).

O volume considerado por viagem (caixa de carga cheia) foi de $17 m^3$.

Também foram determinados os tempos percentuais de cada etapa em relação ao tempo total, com o objetivo de identificar as fases do ciclo com maior impacto na duração total, sendo estes os gargalos operacionais.

3.4 Análise dos Dados

Os dados coletados foram organizados em planilhas eletrônicas e submetidos à análise estatística descritiva, com cálculo de médias, desvios-padrão, coeficientes de variação e tempos percentuais.

Posteriormente, realizou-se uma análise comparativa entre os dois produtos transportados. Para verificar se as diferenças observadas nas médias de tempo e produtividade eram estatisticamente significativas, aplicou-se o teste *t* de Student para amostras independentes, com nível de significância de 5%.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Distribuição dos Tempos Totais por Etapa do Ciclo do Carregamento

O tempo total médio do ciclo operacional foi muito próximo entre os dois materiais, onde a madeira para celulose apresentou 15,43 min e para biomassa o tempo foi de 15,94 min. Apesar da diferença pequena, a distribuição interna das etapas mostram contrastes importantes entre os materiais.

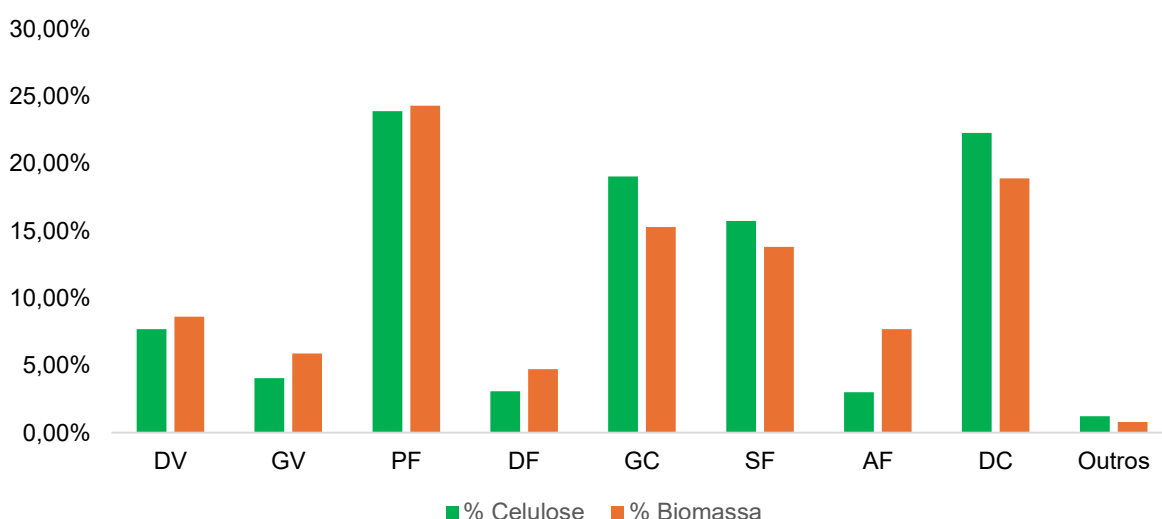
O percentual dos tempos totais dos elementos da atividade de baldeio das toras destinadas à celulose e à biomassa, respectivamente, são apresentados na Figura (1).

A etapa dominante no sortimento celulose foi pegando feixe com 23,90 %, seguidos de deslocamento carregado, com 22,28 %, grua cheia, com 19,04% e soltando feixe com 15,73 %. As etapas de movimentação de carga foram as que consumiram mais tempo (57%), mas o tempo nas etapas de pega e arrumação foram bem menores do que na biomassa, evidenciando melhor padronização dos feixes e maior fluidez de operação. Pegando feixe e grua cheia continuam sendo as etapas mais demoradas, indicando que o layout ou trajeto percorrido ainda é um gargalo, mesmo com feixes mais regulares.

Arrumando feixe com 3,0 %, representou uma redução expressiva em relação à biomassa, demonstrando maior eficiência operacional.

No produto biomassa, a fase que mais consumiu tempo foi pegando feixe com 24,32 %, seguidos de deslocamento carregado, com 18,91 %, grua cheia, com 15,29 % e soltando feixe com 13,81 %. Essas quatro etapas somam aproximadamente 72 % do tempo total, indicando que a biomassa demanda muito esforço nas etapas de manipulação e movimentação da carga. O PF apresentou o maior gargalo, pois o tempo elevado indica dificuldade de acoplamento e pega, devido à irregularidade, heterogeneidade ou dispersão dos feixes de biomassa (SILVA e SANTOS, 2023).

Figura 1 — Composição percentual do ciclo operacional do forwarder para extração de madeiras destinadas à celulose e à biomassa.



A Tabela 1 apresenta os tempos por ciclo e a comparação entre eles, mostrando se houve ou não diferenças significativas entre os dois produtos.

Tabela 1 – Distribuição dos tempos totais por etapa do ciclo operacional da extração da madeira com forwarder para as diferentes aplicações.

Ciclo Operacional	Uso final da madeira	
	Biomassa	Celulose
	Tempo (min.)	
Deslocamento vazio - DV	1,37a	1,19b
Grua vazia - GV	0,625a	0,9375b
Pegando feixe - PF	3,6875a	3,875b
Deslocamento entre feixes - DF	0,475a	0,75b
Grua cheia - GC	2,9375a	2,4375b
Soltando Feixe - SF	2,425a	2,2b
Arrumando Feixe - AF	0,4625a	1,225b
Deslocamento carregado - DC	3,4375a	3,0125b
Outros	0,1875a	0,125a
Tempo Total	15,94	15,42

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de T, a 5% de significância.

A análise do ciclo operacional evidenciou diferenças significativas entre os usos finais da madeira, especialmente no tempo despendido em etapas relacionadas à movimentação e ao manuseio dos feixes. O ciclo destinado à biomassa apresentou maior duração total (15,94 min) em comparação ao ciclo da madeira para celulose (15,43 min), representando um acréscimo de 0,51 min. Embora a diferença absoluta seja moderada, ela reflete alterações estruturais nas operações quando se manipula madeira destinada à biomassa. Resultados semelhantes foram encontrados por Minette et al. (2004), trabalhando em área plana e com distâncias curtas, um ciclo completo do forwarder foi realizado em 16 minutos com madeira para celulose.

As etapas de deslocamento vazio (DV), grua vazia (GV) e pegando feixe (PF) apresentaram tempos significativamente superior para a biomassa, sugerindo maior dispersão espacial dos feixes ou menor uniformidade no empilhamento. Essa interpretação é reforçada pelo maior tempo de arrumação do feixe (AF) na biomassa (1,225 min), que foi aproximadamente três vezes superior ao da celulose (0,4625 min), indicando maior necessidade de ajustes durante o acoplamento e arranjo dos feixes. De modo semelhante, o deslocamento entre feixes (DF) também foi mais

demorado na biomassa, o que contribui para o aumento do tempo total do ciclo. Resultados similares foram observados por estudos de tempo-movimento em operações de colheita, nos quais variáveis como número de manobras e distância de deslocamento explicaram uma parcela significativa da variabilidade no tempo de ciclo (FIEDLER, ROCHA e LOPES, 2008).

Por outro lado, operações realizadas após a coleta do feixe, como grua cheia (GC), soltando feixe (SF) e deslocamento carregado (DC), apresentaram maior duração na madeira destinada à celulose. Esses resultados podem indicar que os feixes destinados à celulose são mais densos, pesados, ou menos compactos, exigindo maior cuidado operacional no transporte e descarga, o que se traduz em tempos adicionais nessas etapas. Ressalta-se que essas três operações concentram uma parcela significativa do ciclo, reforçando seu impacto na eficiência global do processo.

A operação “Outros” não apresentou diferenças estatísticas entre os usos finais, demonstrando que atividades complementares não foram influenciadas pelas características da madeira ou pela forma de empilhamento.

Os resultados analisados comprovam que de fato o tempo dispendido na fase de carregamento do forwarder apresentou uma variação estatisticamente significativa entre a madeira para celulose e a madeira para biomassa, corroborando a hipótese preliminar (PEREIRA, 2021). Os sortimentos para biomassa exigiram um tempo superior em cerca de 3,2 % para o enchimento da caixa de carga, reflexo direto da heterogeneidade dimensional do material (SILVA e SANTOS, 2023). Tais achados dialogam com os preceitos teóricos estabelecidos por Cunha e Santos (2023), que já apontavam a variabilidade da matéria-prima como um fator de complexidade na otimização temporal.

4.2 Produtividade

Mesmo com o tempo médio do ciclo operacional muito próximo, celulose teve um maior valor de produtividade ($66,2 \text{ m}^3/\text{h}$) em relação a biomassa ($64,1 \text{ m}^3/\text{h}$), sendo de aproximadamente 3,2 % a diferença. Tendo a celulose o menor tempo nas etapas iniciais de pega e arrumação, comparando os dois produtos a redução é de

aproximadamente 4,5 percentual nessas etapas. Minette et al. (2004) encontraram produtividade para madeira de celulose de 40,15 m³/h, valor inferior aos aqui encontrados, possivelmente de esses autores terem trabalhado em distâncias mais longas e com um forwarder com menor capacidade de carga.

Os valores de produtividade (m³/h) demonstram que, apesar do tempo de carregamento ser maior para a biomassa, a inclusão de material que seria descartado pode compensar a eficiência temporal, dependendo do valor energético da carga (LOPES e MENDES, 2022).

O que caracterizou o melhor desempenho de produtividade baldeando toras de celulose foi a padronização física das toras de celulose com feixes mais uniformes, facilitando o trabalho da grua, como corrobora Lima e Barbosa (2004), um menor tempo ocioso (redução nos deslocamentos sem carga), menor variabilidade entre operações (maior estabilidade de ciclo), operação contínua e fluída (maior tempo útil com carga movimentada). A celulose é mais previsível, mais fácil de manusear e mais estável, o que reduz o tempo total de ciclo e aumenta a produtividade por hora.

5. CONCLUSÃO

A celulose apresenta maior produtividade e menor tempo total, sendo mais eficiente com operação mais estável e fluída.

A biomassa sofre mais com gargalos na manipulação dos feixes, reflexo da baixa padronização e maior variabilidade física do material.

Em ambas, o deslocamento carregado e a movimentação da grua cheia representam os principais pontos de otimização logística.

Esses resultados demonstram que o uso final da madeira influencia diretamente a dinâmica operacional.

Recomenda-se uniformizar o tamanho e compactar os feixes de biomassa (criar uma padronização).

Revisar o layout do talhão e trajetos de transporte (organizar pilhas para reduzir deslocamentos vazios e entre feixes) reduz o tempo total do ciclo.

Ajustar parâmetros operacionais da grua, aumentar a velocidade.

Otimizar o deslocamento carregado da celulose com trajetos mais diretos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, V. L. **Predictive modeling of forwarder performance considering slope and soil moisture.** Pesquisa Florestal Brasileira, Viçosa, v. 43, n. 75, p. 1-12, 2023.
- BARROS, F. O.; CARVALHO, L. N. **The use of remote sensing technologies for optimizing extraction trails.** Geomática Aplicada, [S.I.], v. 10, n. 2, p. 70-85, 2023.
- BORGES, F. H. **Evaluation of forwarder contact pressure with different types of tires.** Revista Máquinas Agrícolas, [S.I.], v. 12, n. 3, p. 110-125, 2020.
- CUNHA, P. A.; SANTOS, F. P. **Analysis of energy consumption and its relationship with productivity in biomass extraction.** Revista Brasileira de Silvicultura, [S.I.], v. 41, n. 1, p. 50-65, 2023.
- DIAS, R. T.; CARVALHO, L. F. **Optimization of trail spacing and the forwarder's cycle time.** Pesquisa Operacional em Silvicultura, v. 8, n. 1, p. 30-45, 2022.
- FARIAS, B. S.; LIMA, C. D. **The role of yard logistics in minimizing losses during short log loading.** Revista do Setor Florestal, v. 7, n. 3, p. 110-125, 2019.
- FERREIRA, A. D. et al. **Impact of meteorological conditions on the temporal efficiency of forwarders.** Revista Engenharia Agrícola, v. 44, n. 2, e20230005, 2024.
- FOGAÇA, P. M. **Maintenance costs and operational availability of forwarders in long work shifts.** Gestão Florestal, v. 6, n. 4, p. 210-225, 2019.
- GARCIA, I. B. **Impact of harvest planning on the profitability of wood for pulp.** Economia Florestal, v. 17, n. 1, p. 5-20, 2021.
- GODOY, R. V. **Biodiversity preservation in highly mechanized forest operations.** Ecologia Aplicada, v. 5, n. 3, p. 150-165, 2021.
- GOMES, H. R. et al. **Tire wear and its associated costs in wood extraction for pulp chips.** Cadernos de Engenharia Florestal, v. 28, n. 4, p. 300-315, 2021.
- LEITE, E. S. **Optimization of average extraction distance in CTL systems in the Cerrado.** 2023. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.
- LEITE, Elton da Silva et al. **Modelagem do desempenho da extração de madeira pelo “forwarder”.** Revista Árvore, Viçosa, v. 38, n. 5, p. 879-887, 2014.
- LIMA, R. S.; BARBOSA, M. G. **Geopositioning systems (GPS) in forwarder fleet management.** Geografia e Meio Ambiente, v. 21, n. 3, p. 150-165, 2020.

LOPES, C. D.; MENDES, E. P. **The potential of forest biomass as a renewable energy source in Brazil**. Revista de Energia e Sustentabilidade, v. 15, n. 3, p. 50-65, 2022.

MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. Viçosa: Ed. UFV, 2002. 468 p.

MALINOVSKI, R. A. et al. **Análise das variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira em função das características físicas do terreno, do povoamento e do planejamento operacional florestal**. Floresta, Curitiba, v. 36, n. 2, p. 169-182, 2006.

MARQUES, T. S. **Analysis of the variability of biomass assortments and their impact on cubic volume**. Revista de Produtos Florestais, v. 9, n. 2, p. 75-90, 2022.

MARTINS, I. A.; FERREIRA, P. T. **Economic viability of biomass production compared to sawn wood in modern silviculture**. Jornada de Estudos Agrários, v. 4, n. 1, p. 200-215, 2024.

MELLO, D. N. **Effects of habitat fragmentation by mechanized harvesting in pine and eucalyptus stands**. Revista Brasileira de Botânica, v. 33, n. 2, p. 90-105, 2022.

MORAES, T. F. **Harvest planning and trail delineation to reduce the forwarder's impact**. Anais do Congresso Nacional de Silvicultura, p. 15-30, 2022.

NORONHA, P. J. **The role of the rolling resistance coefficient in forest tractor efficiency on different soil textures**. Ciência do Solo, v. 18, n. 1, p. 40-55, 2023.

NUNES, P. O. et al. **Comparison of productivity between 6- and 8-wheel forwarders on low load-bearing capacity terrains**. Floresta Aplicada, v. 29, n. 4, p. 300-315, 2018.

OLIVEIRA, Diego de; LOPES, Eduardo da Silva; FIEDLER, Nilton César. **Avaliação técnica e econômica do forwarder na extração de toras de *Pinus***. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 525-533, dez. 2009.

PEREIRA, L. F. **Time and motion study in different forest harvesting subsystems in the Cerrado Biome**. 2021. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021.

QUEIROZ, V. R. **Environmental risk analysis in biomass extraction: a comparative study with pulp**. Revista de Gestão Ambiental, v. 20, n. 3, p. 120-135, 2022.

RIBEIRO, M. T. **Colheita florestal: princípios e práticas**. Recife: Editora UFRPE, 2020.

ROCHA, E. F. **Modeling the extraction cost and the influence of log volume per log**. Jornal da Silvicultura, v. 5, n. 1, p. 40-55, 2024.

SILVA, J. M.; SANTOS, A. G. **Productivity and optimization of forwarder operational cycles in eucalyptus stands for pulp.** Revista Floresta, v. 53, n. 1, p. 1-15, 2023.

SILVA, T. R. **The impact of climate on harvest scheduling and forwarder productivity.** Agrometeorologia, v. 15, n. 4, p. 180-195, 2019.

SILVEIRA, T. S. **Soil compaction thresholds for eucalyptus root development.** Jornal de Pesquisa Agrícola, v. 15, n. 2, p. 70-85, 2020.

SIQUEIRA, A. D. **The influence of operator training on forwarder temporal efficiency.** Anais do Congresso Brasileiro de Engenharia Florestal, p. 150-165, 2022.

SOUZA, A. J. **Sizing forwarder fleets to meet the seasonal demand of a pulp mill.** 2021. Dissertação (Mestrado) – UNESP.

TORRES, Z. L.; SALES, R. O. **Modeling forwarder rolling resistance in cohesive soils.** Engenharia de Transporte Florestal, v. 19, n. 2, p. 180-195, 2024.

VIANA, M. F. et al. **Productivity comparative between cut-to-length and full-tree systems in eucalyptus extraction.** Floresta e Ambiente, v. 26, n. 4, e20180018, 2019.

ZARATE, C. P. et al. **Real-time monitoring of forest equipment: productivity and safety gains.** Tecnologia e Gestão, v. 20, n. 4, p. 250-265, 2023.