

UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL

LUIZ PAULO DE SOUSA CORREIA

ESTIMATIVA DO CONSUMO HORÁRIO DE COMBUSTÍVEL DO *FORWARDER*

DIAMANTINA – MG

2019

LUIZ PAULO DE SOUSA CORREIA

ESTIMATIVA DO CONSUMO HORÁRIO DE COMBUSTÍVEL DO *FORWARDER*

Tese apresentada à Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como parte das exigências do Programa de Pós Graduação em Ciência Florestal, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Prof. Dr. Angelo Márcio Pinto Leite

DIAMANTINA – MG

2019

Elaborado com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C824e Correia, Luiz Paulo de Sousa.
Estimativa do consumo horário de combustível do forwarder. / Luiz Paulo de Sousa
Correia. – Diamantina, 2019.
60 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Angelo Márcio Pinto Leite.

Tese (Doutorado – Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal) -
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019.

1. Processamento digital de vídeo 2. Umidade da madeira 3. Distância e sentido da
extração 4. Tempo de carregamento e descarregamento. I. Leite, Angelo Márcio
Pinto. II. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Programa de
Pós-Graduação em Ciência Florestal. III. Título.

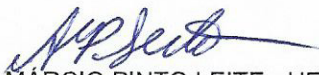
CDD 634.92

**ESTIMATIVA DO CONSUMO HORÁRIO DE COMBUSTÍVEL DO
FORWARDER**

Tese apresentada ao DOUTORADO
EM CIÊNCIA FLORESTAL, nível de
DOUTORADO como parte dos
requisitos para obtenção do título de
DOUTOR EM CIÊNCIA FLORESTAL

Orientador (a): Prof. Dr. Ângelo Márcio
Pinto Leite

Data da aprovação : 05/08/2019



Prof.Dr. ÂNGELO MÁRCIO PINTO LEITE - UFVJM



Prof.Dr. MARCIO LELES ROMARCO DE OLIVEIRA -UFVJM



Dr. LUIZ CARLOS ARAUJO - UFVJM



Prof.Dr. GUSTAVO EDUARDO MARCATTI - UFSJ



Prof.Dr. CARLOS EDUARDO SILVA VOLPATO - UFLA

“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez”.
(George Bernard Shaw, escritor e teatrólogo irlandês)

Dedico esta conquista aos meus pais Geraldo e Elizabete,
aos meus irmãos Rodrigo e Guilherme e a minha irmã
Kelhy, com todo o meu amor e a minha gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter sempre iluminado meu caminho e por mais uma conquista alcançada em minha vida.

Aos meus pais Geraldo e Elizabete, aos meus irmãos Rodrigo e Guilherme e a minha irmã Kelhy, pelo apoio e incentivo constantes durante toda a vida.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri pela formação e oportunidade de realização deste trabalho. Agradeço a todos os professores pelos valiosos conhecimentos compartilhados.

Ao professor Ângelo Márcio Pinto Leite pela oportunidade, confiança, conhecimentos compartilhados, paciência e compreensão ao longo destes anos de orientação.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri pela oportunidade e apoio financeiro.

À Celulose Nipo-Brasileira S.A. (CENIBRA), pela oportunidade, confiança e apoio financeiro na realização deste trabalho. Em especial aos profissionais Bruno Ricardo, Roberto Sousa, Marcos Rodrigues e aos operadores, mecânicos, supervisores e monitores da empresa que contribuíram com esta pesquisa.

Aos professores, Márcio Leles, Gustavo Marcatti, Carlos Volpato e ao Eng. florestal Luiz Carlos pela disponibilidade, contribuições, direcionamentos e esclarecimentos importantes para este trabalho.

Aos amigos e amigas, Any Caroliny, Laís Grazielle, Sula Fernandes, Paulo Henrique, Ludmila Aglai, Gabriela Paranhos, Wander Amaral, José Jhones, Luiz Carlos, Lídia, Luiz Felipe e tantos outros pelo companheirismo, troca de conhecimentos e convivência.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho. Meu muito obrigado!

RESUMO

CORREIA, Luiz Paulo de Sousa. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, agosto de 2019. **Estimativa do consumo horário de combustível do *Forwarder***. Orientador: Ângelo Márcio Pinto Leite

Identificar os fatores que influenciam o consumo de combustível das máquinas florestais é essencial para que medidas de redução possam ser desenvolvidas. Neste sentido, objetivou-se com este trabalho, avaliar o efeito do tempo de secagem da madeira sobre o consumo de combustível do *Forwarder* empregado na atividade de extração florestal, visando auxiliar no planejamento das operações e redução dos custos de produção. A pesquisa foi desenvolvida em povoamentos de *Eucalyptus* spp. de uma empresa florestal situada no estado de Minas Gerais. Foram avaliados seis tratamentos, que corresponderam a seis tempos de secagem (5, 10, 15, 20, 25 e 30 dias após o corte). Estes tratamentos foram aplicados em duas áreas distintas, sendo uma com a extração da madeira realizada no sentido do declive do terreno - Área I e outra com a extração realizada no sentido do aclave do terreno - Área II. Foi coletado o consumo horário de combustível do *Forwarder* operando em cada tratamento e nos dois sentidos de extração. Foi registrado tanto o consumo durante o ciclo operacional quanto o consumo proporcional a cada atividade do ciclo. As análises estatísticas dos dados mostraram que o tempo de secagem da madeira não influenciou diretamente o consumo de combustível do *Forwarder*. Também foi possível verificar que o consumo de combustível do *Forwarder* foi diferente entre as operações de deslocamento vazio e carregado, sendo a ordem de consumo dependente do sentido de extração. Ainda, notou-se que o *Forwarder* apresentou maior consumo horário de combustível ao executar a extração no sentido do aclave do terreno, considerando o ciclo operacional como um todo. A partir dos dados de consumo horário foi calculado o consumo especificado para cada atividade da máquina. E com estes dados foi modelado o consumo especificado em função do tempo demandado para a realização do carregamento e descarregamento, e em função da distância de extração, quando do deslocamento da máquina. A modelagem quantificou a influência direta da distância de extração (DE) no aumento do consumo especificado de combustível (CEC) do *Forwarder* durante as operações de deslocamento e, portanto, estudos complementares que visem a otimização da DE são fundamentais na redução do CEC e de custos de produção. A modelagem demonstrou a influência direta do tempo das operações do carregamento (TC) e do descarregamento (TD) no aumento do consumo especificado de combustível do *Forwarder* e, portanto, estudos complementares que visem a redução no tempo de execução dessas atividades também são importantes na redução do CEC e de custos de produção.

Palavras chave: processamento digital de vídeo, umidade da madeira, distância e sentido da extração, tempo de carregamento e descarregamento.

ABSTRACT

CORREIA, Luiz Paulo de Sousa. Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, August de 2019. **Forwarder Hourly Fuel Consumption Estimation**. Advisor: Ângelo Márcio Pinto Leite.

Identifying the factors that influence the fuel consumption of forest machines is essential for reducing measures to be developed. In this sense, the objective of this work was to evaluate the effect of the drying time of wood on the fuel consumption of *Forwarder* employed in the forest extraction activity, aiming to assist in the planning of operations and reduction of production costs. The research was carried out in stands of *Eucalyptus* spp. of a forestry company located in the state of Minas Gerais. Six treatments were evaluated, corresponding to six drying times (5, 10, 15, 20, 25 and 30 days wood stay in the field after cutting). These treatments were applied in two distinct areas, one with the extraction of the wood performed towards the slope of the terrain - Area I and the other with the extraction performed towards the slope of the terrain - Area II. The hourly fuel consumption of the *Forwarder* operating at each treatment and in both directions of extraction was collected. Both consumption during the operating cycle and consumption proportional to each activity of the cycle were recorded. Statistical analysis of the data showed that the wood drying time did not directly influence *Forwarder's* fuel consumption. It was also possible to verify that the fuel consumption of the *Forwarder* was different between the empty and loaded displacement operations, being the consumption order dependent on the extraction direction. Also, it was noted that the *Forwarder* had higher hourly fuel consumption when performing the extraction uphill, considering the operating cycle as a whole. From the hourly consumption data, the specified consumption for each machine activity was calculated. And with this data, the specified consumption was modeled as a function of the time required for loading and unloading, and as a function of the extraction distance when the machine was moved. The modeling quantified the direct influence of the extraction distance (DE) on the *Forwarder's* specified fuel consumption increase (CEC) during displacement operations and, therefore, complementary studies aiming at the optimization of the DE are fundamental in reducing the ECC and production costs. The modeling demonstrated the direct influence of the loading (TC) and unloading (TD) operation time on the *Forwarder's* specified fuel consumption increase and, therefore, complementary studies aiming at reducing the execution time of these activities are also important in reduction in CPB and production costs.

Keywords: digital video processing, wood moisture, extraction distance and direction, loading and unloading time.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Área I antes do corte da floresta. A linha amarela limita o local onde foram instaladas as parcelas experimentais e as setas em vermelho indicam o sentido da extração.. 16
- Figura 2** - Área II antes do corte da floresta. A linha amarela limita o local onde foram instaladas as parcelas experimentais e as setas em vermelho indicam o sentido da extração.. 16
- Figura 3** – Temperatura do ar média, umidade relativa do ar média e precipitação total das áreas estudadas durante o período de coleta dos dados de consumo horário de combustível. . 19
- Figura 4** – Esquematização das operações do *Forwarder* no sentido da extração florestal em declive e aclave. 20
- Figura 5** – *Forwarder* John Deere modelo 1910E. 22
- Figura 6** – Curva de secagem dos clones das áreas estudadas. 23
- Figura 7** - Esquematização da casualização das parcelas na área experimental..... 25
- Figura 8** – Foto ilustrativa de uma parcela experimental. 26
- Figura 9** – Imagem ilustrativa da tela do computador de bordo do *Forwarder*, sistema *TimberMatic*. 27
- Figura 10** – Imagem ilustrativa do vídeo criado pelo *software WM Capture®*, com a marcação dos locais contendo cada informação a ser extraída pelo *software SCILAB 6.0.2*.. 29
- Figura 11** – Exemplificação da planilha gerada automaticamente pelo *software SCILAB* após o processamento dos vídeos. 30
- Figura 12** – Exemplificação da planilha gerada automaticamente pelo *software SCILAB* após cruzamento com dados (horário de início e término de cada atividade) levantados em campo. 30
- Figura 13** - Relação entre o consumo horário de combustível e os dias após o abate das árvores, para a extração sentido declive e aclave..... 38
- Figura 14** – Médias de consumo horário de combustível do *Forwarder* para cada elemento do ciclo operacional durante a extração no sentido do declive. DV: Deslocamento vazio; CAR: Carregamento; DC: Deslocamento carregado; DESCAR: Descarregamento. 39
- Figura 15** – Médias de consumo horário de combustível do *Forwarder* para cada elemento do ciclo operacional durante a extração no sentido do declive. DV: Deslocamento vazio; CAR: Carregamento; DC: Deslocamento carregado; DESCAR: Descarregamento. 40

Figura 16 – Consumo horário de combustível por ciclo durante a extração sentido declive e aclave. CV = 8,9%. Letras distintas entre colunas diferem pelo teste de *Wilcoxon*.41

Figura 17 – Consumo horário de combustível no deslocamento sentido do aclave. CV Combustível = 4,36 %; CV RPM = 4,16 %; CV Velocidade = 10,28.42

Figura 18 – Consumo horário de combustível no deslocamento sentido do declive. . CV Combustível = 14,58 %; CV RPM = 6,81 %; CV Velocidade = 19,99.43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características dendrométricas do povoamento das áreas utilizadas.....	17
Tabela 2 – Tempo de secagem das toras após o abate e processamento.	23
Tabela 3 – Consumo horário de combustível por atividade e por ciclo operacional do <i>Forwarder</i> , durante a extração no sentido do declive, em função do tempo após o abate.....	35
Tabela 4 - Consumo horário de combustível por atividade e por ciclo operacional do <i>Forwarder</i> , durante a extração no sentido do aclave, em função do tempo após o abate.....	35
Tabela 5 - Equações ajustadas para determinação do consumo especificado de combustível do <i>Forwarder</i> na extração sentido do declive.	43
Tabela 6 - Equações ajustadas para determinação do consumo específico de combustível do <i>Forwarder</i> na extração sentido do aclave.	44
Tabela 7 – Consumo de combustível (L.Ciclo-1) estimado para o <i>Forwarder</i> em função da distância de extração e do tempo demandado para operação de carregamento e descarregamento, para a extração no sentido do declive.	46
Tabela 8 – Consumo de combustível (L.Ciclo-1) estimado para o <i>Forwarder</i> em função da distância de extração e do tempo demandado para operação de carregamento e descarregamento, para a extração no sentido do aclave.	46

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	7
2 OBJETIVOS.....	9
2.1 Objetivo Geral.....	9
2.2 Objetivos Específicos	9
3. REVISÃO DE LITERATURA	10
3.1. Importância do setor florestal brasileiro	10
3.2 Colheita Florestal Mecanizada.....	11
3.3 Sistema de colheita de toras curtas	12
3.4 Consumo de combustível de máquinas florestais	13
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	16
4.1 Caracterização da área de estudo	16
4.2 Descrição do sistema de colheita florestal.....	18
4.2.1 Procedimentos operacionais do <i>Harvester</i>	18
4.2.2 Procedimentos operacionais do <i>Forwarder</i>	20
4.3 Descrição das máquinas estudadas	21
4.4 Tratamentos testados.....	22
4.5 Coleta de dados/Delineamento experimental	24
4.6 Consumo horário de combustível do <i>Forwarder</i>	27
4.7 Análise estatística dos dados e estimativa de consumo	30
4.7.1 Análise estatística dos dados	30
4.7.2 Estimativa do consumo especificado de combustível do <i>Forwarder</i>	31
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Consumo horário de combustível em função dos dias após abate.....	34
5.1.1 Consumo horário de combustível por elemento do ciclo operacional	34
5.1.2 Consumo horário de combustível por ciclo operacional.....	37
5.1.3 Consumo horário de combustível por sentido de extração	39
5.1.4 Consumo horário de combustível por sentido de deslocamento	42
5.2 Estimativa do consumo especificado de combustível.....	43
6. CONCLUSÕES	47
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
ANEXO	52

1 INTRODUÇÃO

A demanda de madeira pelas indústrias brasileiras de base florestal, em grande parte, só pode ser suprida com o uso de métodos mecanizados de colheita. Por esta razão, a utilização de máquinas de alta tecnologia embarcada nas atividades de colheita da madeira tornou-se imprescindível para a sustentabilidade do negócio florestal. A mecanização da colheita visando principalmente ganhos de produtividade garante o abastecimento das indústrias com o fornecimento regular e padronizado de madeira.

Por outro lado, as máquinas utilizadas na colheita florestal consomem grande volume de combustível para executar suas operações. Este alto consumo, por sua vez, é de suma importância econômica para as empresas, pois associado ao elevado preço do óleo Diesel no Brasil geram custos que são sempre motivo de preocupação para os gestores florestais. Os gastos com combustível destacam-se como um dos principais componentes dos custos operacionais de máquinas da colheita florestal. Por este motivo, torna-se essencial identificar os fatores que influenciam o consumo de combustível para que medidas de redução possam ser desenvolvidas.

Além da importância econômica, o consumo de combustível nas operações de colheita da madeira também tem importância ecológica, uma vez que 80% a 95% das emissões de gases de escape e partículas de fuligem em maquinário florestal estão associadas ao consumo de combustível (PANDUR et al, 2018). Portanto, além de essencial para a economia dos negócios florestais, reduzir o consumo de combustível por unidade produzida é uma questão fundamental na busca por práticas de manejo florestal mais sustentáveis (NORDFJELL et al., 2003).

Apesar da importância, estudos no Brasil sobre o consumo de combustível das máquinas utilizadas na colheita florestal são escassos. Na maioria daqueles que foram conduzidos às análises do consumo ocorreram de forma indireta, geralmente associadas a estudos técnicos e econômicos das máquinas. Uma provável razão para a escassez destes estudos se dá pela existência de inúmeros e complexos fatores que interferem nas operações da colheita florestal, o que aumenta os desafios para os pesquisadores. Tal fato reforça a importância da realização de pesquisas com vistas a obter dados precisos sobre o consumo de combustível de máquinas florestais levando em conta as peculiaridades das operações.

Outro aspecto que contribui com a falta de estudos relacionados a esse assunto é a dificuldade em mensurar o consumo de combustível destas máquinas. Portanto, torna-se fundamental o desenvolvimento e/ou aprimoramento de novas metodologias para a realização de medições com precisão adequada, com maior facilidade e ao mesmo tempo, menos onerosas do ponto de vista financeiro, especialmente aquelas baseadas nas tecnologias embarcadas nas próprias máquinas.

Diante deste contexto, o presente estudo foi realizado com o intuito de investigar a influência da umidade da madeira no consumo de combustível do trator *Forwarder* utilizado na extração de toras em sistemas de colheita florestal de toras curtas. Após o corte da árvore, a perda de umidade das toras ocorre em função do número de dias em que a madeira permanece no campo. Com a perda de umidade, ocorre a diminuição da massa das toras e, conseqüentemente, a diminuição da massa da carga transportada pelo *Forwarder* que, por sua vez, pode ter efeito sobre o consumo de combustível da máquina.

Estudos nesse sentido podem fornecer informações precisas sobre o consumo de combustível do *Forwarder* e, assim, contribuir para o conhecimento do custo real das operações, além de fornecer subsídios para o desenvolvimento de medidas de redução de consumo, bem como potenciais melhorias no projeto de máquinas.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar o efeito do tempo de secagem da madeira sobre o consumo de combustível do *Forwarder* empregado na atividade de extração florestal, visando auxiliar no planejamento das operações e redução dos custos de produção.

2.2 Objetivos Específicos

a) Estimar e analisar o consumo horário de combustível do *Forwarder* proporcional a cada elemento do ciclo.

b) Avaliar o consumo horário de combustível do *Forwarder* em relação ao sentido da extração em declive e em aclave.

c) Ajustar modelos para a estimativa do consumo horário de combustível do *Forwarder* em função do tempo de secagem da madeira.

c) Ajustar modelos para a predição do consumo específico de combustível em função do tempo demandado para a realização da atividade de carregamento e descarregamento e em função da distancia de extração.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Importância do setor florestal brasileiro

Mais da metade do território brasileiro é composto de florestas, sendo 509,8 milhões de hectares cobertos por florestas nativas e 6,8 milhões de hectares por florestas plantadas, classificando o Brasil como a segunda maior área florestal do mundo, superada apenas pela Rússia, com 809 milhões de hectares compostos com florestas (SFB, 2010). Segundo Valverde et al., (2012), o país tem despontado como a maior potência mundial no fornecimento de produtos florestais madeireiros (PFM) e não-madeireiros (PFNM) e de serviços ambientais, graças às funções ecossistêmicas de suas florestas.

As florestas plantadas fornecem uma série de benefícios econômicos, sociais e ambientais para o Brasil. Para a economia brasileira e para a sociedade, o setor florestal contribui com uma parcela importante da geração de produtos, impostos, divisas, empregos e renda. Em 2017, por exemplo, o setor de árvores plantadas foi responsável por 1,1% do PIB nacional (R\$ 73,8 bilhões), gerou 3,7 milhões de empregos diretos, indiretos e resultantes do efeito-renda, arrecadou R\$ 11,5 bilhões em tributos federais, estaduais e municipais (0,9% da arrecadação nacional) e exportou cerca de US\$ 9 bilhões, o equivalente a 3,9% das exportações brasileiras (IBÁ, 2018).

Do ponto de vista ambiental, as florestas plantadas contribui para o meio ambiente com a regulação dos ciclos hidrológicos, o controle da erosão e da qualidade do solo, a conservação da biodiversidade, a provisão de oxigênio para o planeta, e a inegável contribuição na mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (IBÁ, 2018).

Devido às características edafoclimáticas brasileiro (solo e clima) e o desenvolvimento tecnológico obtido nas áreas de manejo florestal e silvicultura, o Brasil se tornou competitivo no mercado (interno e externo) de produtos florestais (OLIVEIRA e OLIVEIRA, 2017). O melhoramento genético para selecionar as espécies de maior potencial de produção de madeira, o controle de pragas, e o manejo e colheita baseados em técnicas florestais de alta tecnologia contribuem para que as florestas brasileiras alcancem produtividade significativas (ARAUJO et al., 2017) cerca de 10 vezes superior à observada em países líderes do mercado mundial (HOEFLICH, 2006).

Diante do contexto, nota-se a importância do setor de florestas plantadas para o Brasil e por isso torna-se fundamental a realização de pesquisas voltadas a formulação de estratégias

e instrumentos que apoiem a atividade florestal, enfrentando questões relativas ao uso das florestas, visando à manutenção das vantagens competitivas do país no cenário mundial.

3.2 Mecanização da Colheita Florestal

A colheita florestal nas empresas brasileiras, ao longo dos anos, passou por uma expressiva evolução, principalmente no que tange a mecanização. Atualmente, muitas empresas utilizam em suas atividades de colheita da madeira máquinas e equipamentos modernos com alta tecnologia embarcada e de elevada produtividade.

Os avanços da mecanização da colheita e do transporte de madeira contribuíram para que o setor florestal brasileiro despontasse rapidamente (YONEZAWA, 2010). A necessidade de melhoria de condições de trabalho, redução da mão de obra, aumento da competitividade com o incremento de novas alternativas de produção motivou a evolução da mecanização nas operações de colheita da madeira (SEIXAS, 2010).

A mecanização da colheita de madeira está presente na maioria das empresas florestais, se distinguindo em relação ao nível de mecanização. Algumas empresas adotam sistemas totalmente mecanizados, enquanto outras adotam apenas parte do processo (LOPES, 2010). A colheita mecanizada torna-se atrativa para as empresas florestais, pois proporciona consideráveis reduções de mão de obra em prazos relativamente curtos, redução de custos, aumento de produtividade e humanização do trabalho, melhorando a qualidade do produto final e podendo, ainda, diminuir o nível de danos ambientais (PAULA, 2011; VIEIRA et al., 2016).

Outro ponto importante a ser considerado no sistema mecanizado diz respeito ao melhor controle sobre a produtividade dos colaboradores, com dispositivos que monitoram a produção e o tempo efetivo de trabalho (VIEIRA et al., 2016).

Existe uma grande variabilidade de máquinas que podem ser utilizadas nas etapas da colheita de madeira, sendo que, a aplicação de cada máquina dependerá do tipo de floresta, do terreno e objetivo do produto final (LIMA e LEITE, 2014), podendo as empresas formarem vários conjuntos de colheita optando por aquele que seja mais adequado ao sistema utilizado e às suas peculiaridades (JACOVINE et al., 2005).

De acordo com Scorupski et al (2017) ainda há questionamentos sobre qual o melhor sistema de colheita a ser utilizado para cada situação, em que há necessidade da realização de estudos para analisar operacionalmente os diferentes sistemas de colheita de madeira, visando

o melhor entendimento das relações entre as variáveis que explicam esse processo. Por isso, a melhoria e, ou aperfeiçoamento das técnicas para uma colheita da madeira mais racional e eficiente torna-se cada vez mais necessário (MINETTE et al., 2004).

Quando apropriadamente planejada, a mecanização no setor florestal contribui significativamente para maximizar retornos em geral (LEITE et al. 2014), garantindo assim o abastecimento das indústrias com fornecimento regular e padronizado de madeira. Por outro lado, o processo de mecanização requer investimentos muito altos e, dependendo da forma de condução do sistema, pode haver grande desvalorização do produto final (MINETTE et al., 2008).

Machado et al. (2014), afirma que a colheita florestal é uma das operações mais custosas no preço final da madeira na indústria. Para Santos et al. (2016), dentre as atividades florestais a colheita florestal é a operação que gera maior custo à madeira posta na fábrica. Portanto, torna-se fundamental a realização de pesquisas para aumentar o rendimento, produtividade e reduzir custos na atividade de colheita (MONTEIRO et al., 2016).

3.3 Sistema de colheita de toras curtas

As operações da colheita podem ser planejadas e ordenadas em diferentes sistemas de colheita, classificados, essencialmente, quanto à forma como a madeira é retirada do povoamento. O sistema de toras curtas (*Cut to length*), por exemplo, é caracterizado por todas as operações do corte serem realizadas dentro do povoamento e a madeira extraída em toras com até 7 m de comprimento (MALINOVSKI et al., 2014).

Neste sistema de colheita as árvores são derrubadas e processadas no interior do talhão, sendo a madeira, em seguida, extraída para a margem do talhão, na forma de toras, com concentração do tráfego das máquinas em ramais pré-designados no interior do talhão (RODRIGUES e LOPES, 2018).

Nas empresas brasileiras, que utilizam o sistema de colheita de toras curtas no método mecanizado, é muito comum o emprego do módulo de colheita constituído pelos tratores *Harvester* e *Forwarder*. Sendo o corte e o processamento das árvores (desgalhamento, destopamento, descascamento e traçamento) realizado pelo *Harvester* e a extração da madeira da área de corte para a margem da estrada ou pátio intermediário executado pelo *Forwarder*.

O *Harvester* é constituído por uma máquina base automotriz com rodado de pneus de baixa pressão e alta flutuação, esteiras metálicas ou mistas (pneus com esteiras), lança

hidráulica para alcance das árvores que em conjunto com um cabeçote realizam as operações de derrubada, desgalhamento, descascamento, e traçamento da madeira (LEITE et al., 2013). O *Forwarder*, denominado como um trator florestal transportador, é utilizado no processo de extração da madeira do interior do talhão para as margens das estradas, onde são empilhadas ficando prontas para a realização do transporte (LEITE, 2012).

Segundo Simões e Fenner, 2010, o *Forwarder* é uma máquina na qual a velocidade não é sua característica essencial, pois a maior parte do seu tempo operacional é gasta com carga e descarga (SIMÕES e FENNER, 2010). No entanto, esse trator destaca-se muito pela sua capacidade de superar as condições adversas encontradas no campo, incluindo grandes declives, nos quais a extração pode ser realizada com a montagem de um guincho de tração auxiliar na extremidade traseira do *Forwarder* (SEIXAS e CASTRO, 2014).

Segundo Lacerda et. al. (2015) a extração de madeira necessita de bom planejamento, pois é uma atividade complexa por causa dos inúmeros fatores que a afetam, quer seja direta ou indiretamente. Para Seixas e Castro (2014), a extração de madeira é um dos pontos críticos da colheita florestal e exige um planejamento detalhado das operações. Sendo importante também, que esta fase seja desenvolvida ao menor custo possível para garantir a viabilidade das operações florestais. Os autores ressaltam ainda que, para se obter sucesso nessa atividade, é necessário conhecer todos os fatores que influenciam a extração, os meios disponíveis para sua execução e a estrutura dos custos parciais da operação.

3.4 Consumo de combustível de máquinas florestais

As atividades de colheita e transporte florestal, pelo fato de utilizarem máquinas em quase todas as suas etapas, demandam grande consumo de combustível, sendo este um dos principais componentes dos custos operacionais. Este consumo relaciona-se com a energia necessária para cada máquina realizar o seu deslocamento e operações que demandam grande potência. Nesse sentido, torna essencial identificar os fatores que estão relacionados ao consumo de combustível de forma a desenvolver medidas de redução (SANTOS, 2018).

O consumo de combustível pode ser expresso de duas maneiras: como unidade de volume por unidade de tempo ($L \cdot h^{-1}$), e por meio de unidade de massa por unidade de tempo ($kg \cdot h^{-1}$). Tecnicamente, a melhor forma de se expressar o consumo é unidade de massa por unidade de potência ($g \cdot kW \cdot h^{-1}$), conhecida como consumo específico (LOPES et al., 2003).

Praticamente todas as etapas da colheita florestal mecanizada envolvem diretamente o consumo de combustíveis. Em florestas equiâneas, esse consumo varia de acordo com

diversos fatores como condições de relevo, clima, vias de acesso, produtividade das florestas e fatores que interagem diretamente nas atividades de trabalho (OLIVEIRA JÚNIOR e MORAIS FILHO, 2006).

Em avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com *Harvester*, Simões et al., 2010, observaram que o consumo de combustível foi o item que mais impactou os custos operacionais. Segundo os autores, isto se deve ao fato da operação demandar a potência máxima do motor para um funcionamento adequado da máquina.

Silva (2015), destacou o consumo de combustível como um dos componentes mais relevantes no custo total do *Harvester*, sendo essa variável diretamente ligada à quantidade de horas trabalhadas.

Lopes et al. (2015), observaram que 23% do custo total operacional do *Harvester* foi representado pelo consumo de combustível. Estes autores encontraram um consumo horário de combustível do trator florestal *Forwarder* de 12,5 L h⁻¹, resultando em um consumo específico em torno de 71,2 g kW h⁻¹. Os custos variáveis, por sua vez, responderam pela maior parte do custo operacional da máquina, sendo responsáveis por 49,1%, do custo total. Os autores ressaltam ainda que, o consumo de combustível afetou diretamente o custo variável, representando 26,9%.

Simões (2008), ao avaliar economicamente dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto, os custos variáveis do *Harvester*, *Feller Buncher* e Processador Florestal sofreram grande influência do consumo de combustível. Do custo operacional total, o consumo de combustível correspondeu a 26,90% para o *Harvester*, 35,46% para o Processador Florestal e 36,98% para o *Feller Buncher*, sendo esse nível de consumo superior às demais máquinas estudadas. Segundo o autor, este resultado ocorre em função da operação demandar maior rotação do motor para um funcionamento adequado do cabeçote.

Para Robert (2013), as variáveis que mais influenciaram os custos do *Harvester* e do *Forwarder* estudado pelo autor, foram aquelas que obtiveram as maiores porcentagens na composição do custo operacional, sendo o preço do combustível uma dessas variáveis.

Simões e Fenner (2010), ao estudarem a influência do relevo na produtividade e custos do *Harvester* observaram que o custo variável representou 70,0% do custo total, e que 29,85% destes foram provenientes do consumo de combustível, sendo necessário estudos sobre as variáveis que influenciam os custos na colheita de madeira de modo a minimizar esses custos e otimizar o processo operacional.

Miyajima et al. (2017), ao analisarem quantitativamente o risco técnico-econômico de um trator florestal *Skidder*, afirmaram que o dispêndio com combustível foi o componente que mais onerou o custo da extração da madeira em uma floresta de *Eucalyptus* sp. de primeiro corte, tendo um consumo específico efetivo de combustível de $123,51 \text{ g kW h}^{-1}$.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização da área de estudo

O trabalho foi desenvolvido em áreas de operação de colheita florestal pertencentes à uma empresa produtora de celulose. As parcelas experimentais foram instaladas em duas áreas distintas, sendo uma com a extração da madeira realizada no sentido do declive do terreno - Área I (Figura 1) e a outra com a extração realizada no sentido do aclave do terreno - Área II (Figura 2).



Figura 1 - Área I antes do corte da floresta. A linha amarela limita o local onde foram instaladas as parcelas experimentais e as setas em vermelho indicam o sentido da extração.

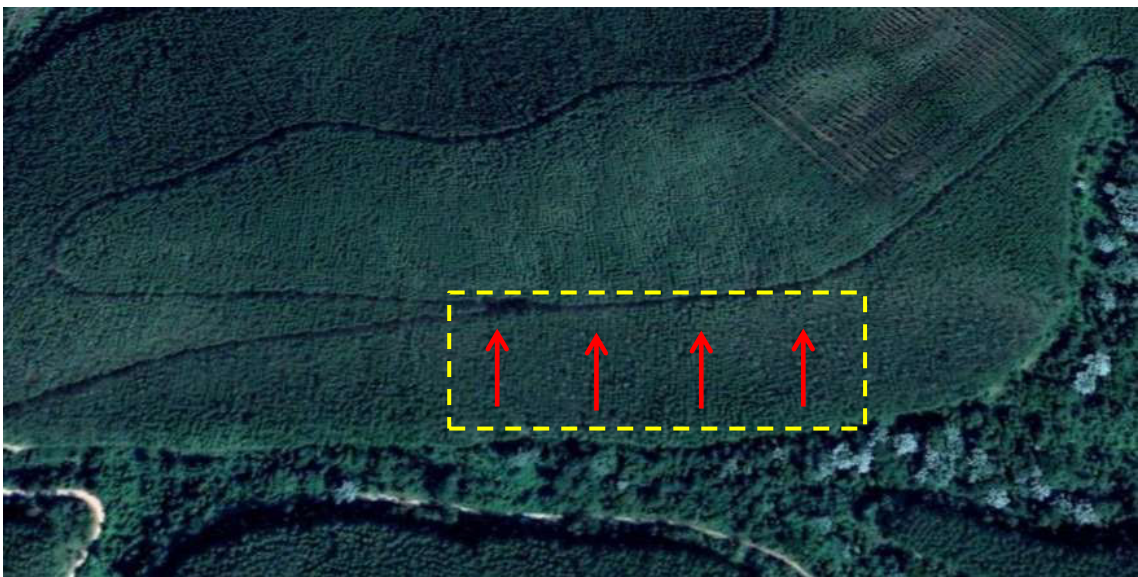


Figura 2 - Área II antes do corte da floresta. A linha amarela limita o local onde foram instaladas as parcelas experimentais e as setas em vermelho indicam o sentido da extração.

Ambas as áreas localizam-se no município de Guanhães, região leste de Minas Gerais, Brasil. O clima predominante da região, segundo a classificação de Koppen, é o Aw – Clima Tropical chuvoso de savana, ou seja, inverno seco e chuvas máximas no verão (SOUZA et al., 2003).

A Área I situa-se nas imediações das coordenadas geográficas 18°39'31.29"S de latitude e 42°52'37.10"O de longitude, altitude média de 846 m, solo classificado como LVAw1 - Latossolo Vermelho Amarelo: Ácrico típico, textura muito argilosa, A moderado, álico, caulínítico-oxídico mesoférrico. A Área 2 situa-se nas coordenadas 18°35'5.61"S de latitude e 42°55'22.23"O de longitude, apresenta altitude média de 860 m, solo classificado como CXdb5 - Cambissolo Háplico: Tb Distrófico latossólico, textura argilosa, A moderado, álico, caulínítico, mesoférrico.

A inclinação dos ramais de extração em ambas as áreas variou 0 a 19° e foi determinada utilizando-se um clinômetro embarcado na própria máquina. Segundo, a empresa, as duas áreas são definidas como áreas padrão, ou seja, áreas com a declividade do terreno entre 0° e 28°. As duas áreas estavam povoadas com clones de *Eucalyptus* spp. As características dendrométricas destes povoamentos estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Características dendrométricas do povoamento das áreas utilizadas.

Características	Área I	Área II
Material genético	Híbrido de <i>Eucalyptus</i> spp	Híbrido de <i>Eucalyptus</i> spp
Manejo	Regeneração	Reforma
Espaçamento de plantio (m)	3 x 3	3 x 3
Número médio de árvores por ha	1057	925
Densidade básica da madeira (kg/m ³)	508,65	517,83
DAP médio (cm)	16,54	17,11
Altura média (cm)	28,1	23,34
Volume médio individual (m ³)	0,27	0,27
Idade (anos)	6,4	6,5
IMA (m ³ ha ⁻¹ ano ⁻¹)	44,21	36,62
Bitola das toras (m)	6,5	6,5

DAP = diâmetro médio a altura do peito (1,30 m); IMA = incremento médio anual.

Na Área I, o manejo adotado para a formação da floresta foi de reforma, também conhecido como manejo de alto fuste. Neste sistema, após o corte da floresta realiza-se o

replântio (reforma) que normalmente é feito com a troca de material genético e na entrelinha do plantio antigo. Na Área II, o manejo adotado foi o da regeneração, também denominado de manejo por talhadia. Neste sistema, após o corte da floresta realiza-se a condução do crescimento dos brotos nas cepas da floresta recém cortada, dando-se início a um novo ciclo florestal.

Os dados climáticos do período de realização dos experimentos foram registrados pela Estação Meteorológica da própria empresa, localizada nas proximidades das áreas estudadas. Foram registrados os dados de temperatura do ar média, umidade relativa do ar média e precipitação total (Figura 3).

4.2 Descrição do sistema de colheita florestal

O sistema de colheita florestal utilizado pela empresa é o de toras curtas (*cut to length*), sendo o *Harvester* a máquina utilizada para executar a derrubada e o processamento das árvores e o *Forwarder* para executar a extração da madeira. Após a extração, um carregador florestal realiza o carregamento das toras sobre os veículos de transporte principal que seguem para a fábrica onde a madeira será utilizada para produção de celulose.

4.2.1 Procedimentos operacionais do *Harvester*

Para executar a operação de corte, o *Harvester* desloca-se perpendicularmente às curvas de nível do terreno e quando possível paralelamente ao alinhamento do plantio. O eito de corte é composto por uma faixa contendo quatro linhas de árvores, com a máquina sempre se deslocando sobre a entrelinha da segunda e terceira linha.

A operação inicia-se com o posicionamento do cabeçote à base da árvore, tocando o solo, com as facas e rolos abertos. Na sequência o operador aciona o fechamento dos rolos e facas, seguido do acionamento do comando para efetuar o corte de abate e tombamento da árvore. Posteriormente, realiza-se o descascamento, desganhamento e traçamento do fuste em toretas com comprimento de 6,5 metros, até o diâmetro mínimo de 0,04 metros. Estas toras são posicionadas à esquerda e perpendicular ao sentido de deslocamento da máquina formando feixes de madeira para, posteriormente, serem extraídas pelo *Forwarder*. As galhadas, folhas e cascas das árvores são depositadas no sentido de deslocamento da máquina sobre a entrelinha da segunda linha. Ao final da derrubada de um eito, o trabalho é reiniciado no mesmo talhão no eito subsequente.

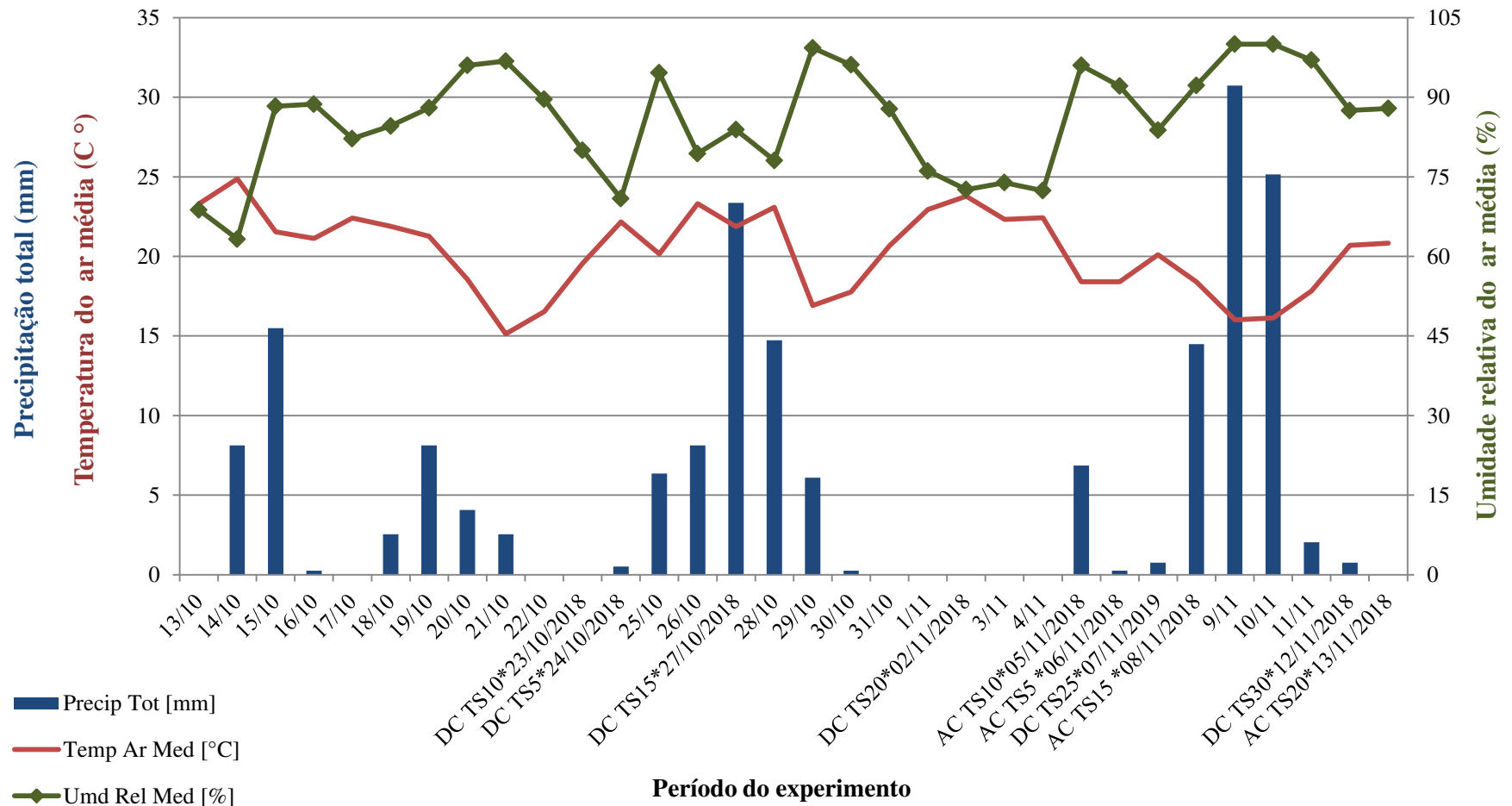


Figura 3 – Temperatura do ar média, umidade relativa do ar média e precipitação total das áreas estudadas durante o período de coleta dos dados de consumo horário de combustível.

DC*TS5/10/15/20/25/30: Dia da coleta de dados na área de extração em declive nos respectivos tratamentos. AC*TS5/10/15/20: Dia da coleta de dados na área de extração em aclave nos respectivos tratamentos.

4.2.2 Procedimentos operacionais do *Forwarder*

A operação do *Forwarder* para extrair a madeira inicia-se com o posicionamento da máquina à margem da estrada, ao lado do local onde serão depositadas as toras em forma de pilhas (estaleiros). Na sequência a máquina desloca-se para o interior do talhão até o primeiro feixe a ser carregado e inicia o autocarregamento. Após concluir o carregamento, a máquina se desloca carregada em direção à margem da estrada onde realiza o descarregamento. Durante o descarregamento, as toras são posicionadas em pilhas formadas perpendicular ou paralelamente ao sentido de deslocamento da estrada, conforme o planejamento.

A extração ocorre em dois sentidos distintos, declive e aclave (Figura 4). Na extração em declive a máquina desloca-se vazia e a marcha ré no sentido morro acima (subindo), realiza o autocarregamento na parte superior do talhão e, posteriormente, desloca-se carregada e de frente no sentido morro abaixo (descendo). Sendo a madeira depositada em estaleiros localizados na parte inferior do talhão.

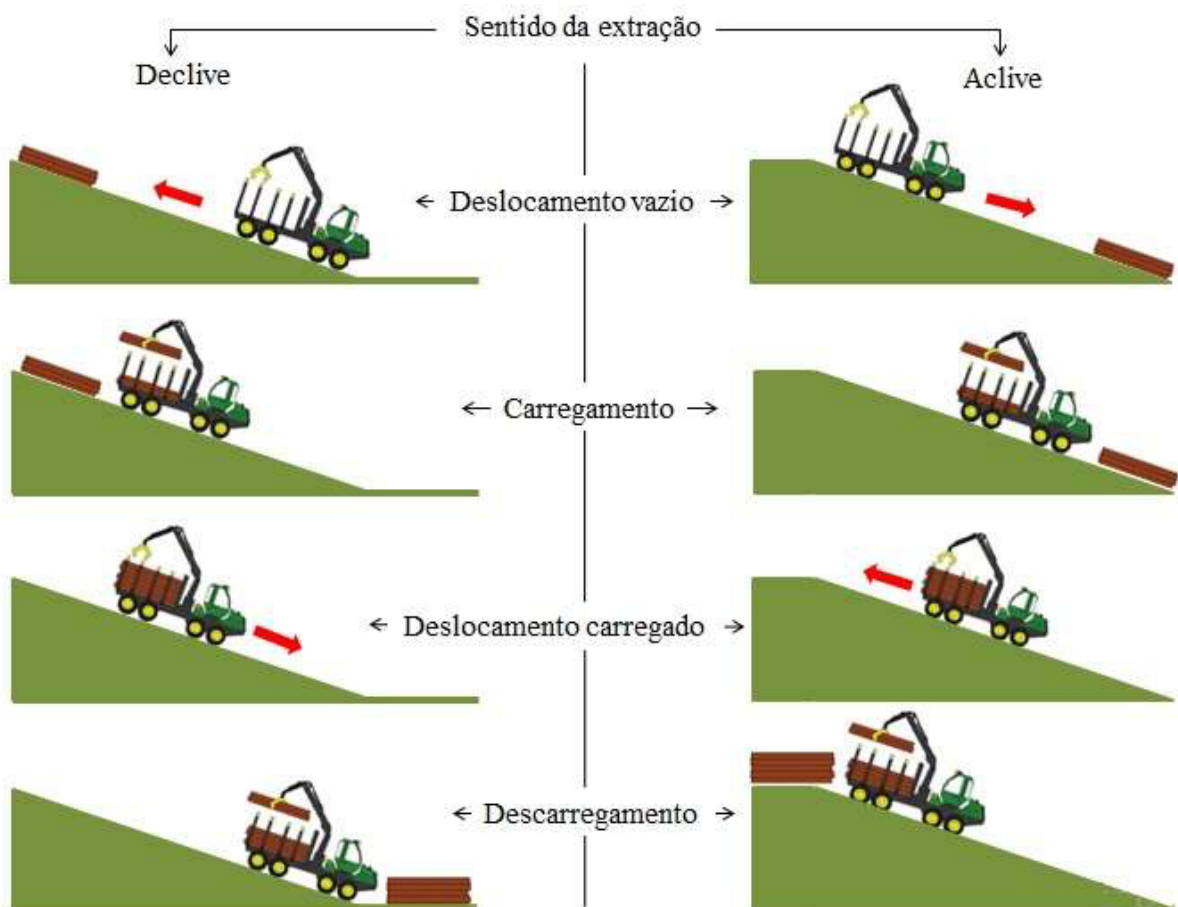


Figura 4 – Esquemática das operações do *Forwarder* no sentido da extração florestal em declive e aclave.

Na extração em aclive, a máquina desloca-se vazia e de frente no sentido morro abaixo (descendo), executa o autocarregamento na parte inferior do talhão e, na sequência, desloca-se carregada no sentido morro acima, ou seja, subindo. Posteriormente, a madeira é depositada em estaleiros localizados na parte superior do talhão.

4.3 Descrição das máquinas estudadas

Foram utilizados dois tratores florestais *Forwarders* com especificações técnicas idênticas. A única diferença entre as máquinas estudadas estava apenas na quantidade de horas de uso. O *Forwarder* utilizado para a extração no sentido do declive (Área I), no início das coletas, possuía 2445 horas de operação, enquanto o *Forwarder* utilizado na extração no sentido do aclive (Área II), no início das coletas, possuía 3205 horas trabalhadas.

Os *Forwarders* utilizados são da marca John Deere, modelo 1910E (Figura 5), motor PowerTech™ Plus 6090, cilindradas do motor de 9,0 L, potência líquida máxima de 186 kW (249 HP), torque líquido máximo de 1100 N.m (811 lbf.pé), aspiração por turboalimentação com intercooler e tanque de combustível com capacidade de 184 L.

As máquinas possuem transmissão do tipo hidrostática mecânica, de duas velocidades, 1º marcha variando de 0 a 7 km/h e 2º marcha variando de 0 a 21 km/h. Possuem tração 8 x 8 com força de 220 kN (49.458 lbf). O sistema de rodados é constituído de pneus implementados com semiesteiras.

O sistema hidráulico dos *Forwarders* possuem potência ajustável por intermédio de um sensor de carga, capacidade da bomba de 180 cm³ (10,98 pol.³), pressão operacional de 3.480 PSI (24 MPa) e tanque de óleo hidráulico com capacidade de 185 L.

A grua hidráulica para carregamento e descarregamento da madeira é composta por lança, braço, barra telescópica e rotator, com alcance máximo 8,5 m, torque bruto de elevação 151 kNm.m, torque de giro de 41 kNm.m, ângulo de giro de 380 graus.

As dimensões dos *Forwarders* são 10,37 metros de comprimento e 3 metros largura. Cada máquina possui massa de 21800 kg com capacidade de carga de 19.000 kg. As duas máquinas estavam equipadas com guinchos de tração auxiliar (GTA) (embora estes não tenham sido utilizados durante as operações nas áreas estudadas). O GTA é fixado no chassi da máquina, funcionando sincronizado com o sistema de transmissão e fornece uma massa adicional às máquinas de 1.900 kg.

Todos os comandos da máquina são realizados pelo operador de dentro cabine por intermédio de *mini-joysticks* e diversos botões presentes no painel de controle. A cabine gira

até 290 graus e possui sistema de auto-nivelamento, o que mantém o operador na postura correta, independentemente de quão desigual ou íngreme seja o terreno.

As máquinas também são equipadas com um computador de bordo cujo sistema de controle é o TimberMatic™ F-09 e o sistema operacional é o Windows® 7.



Figura 5 – *Forwarder* John Deere modelo 1910E.

4.4 Tratamentos testados

Após o corte da árvore, a perda de umidade das toras ocorre em função do tempo de secagem, ou seja, em função do número de dias em que a madeira permanece no campo após o abate. A empresa elabora a curva de secagem da madeira, por meio de modelagem matemática, levando em consideração a classe de densidade da madeira de cada material genético. Como os materiais genéticos (da Área I e II) deste estudo possuem densidades semelhantes, estes são incluídos na mesma classe de densidade e, portanto, possuem curva de secagem idêntica (Figura 6).

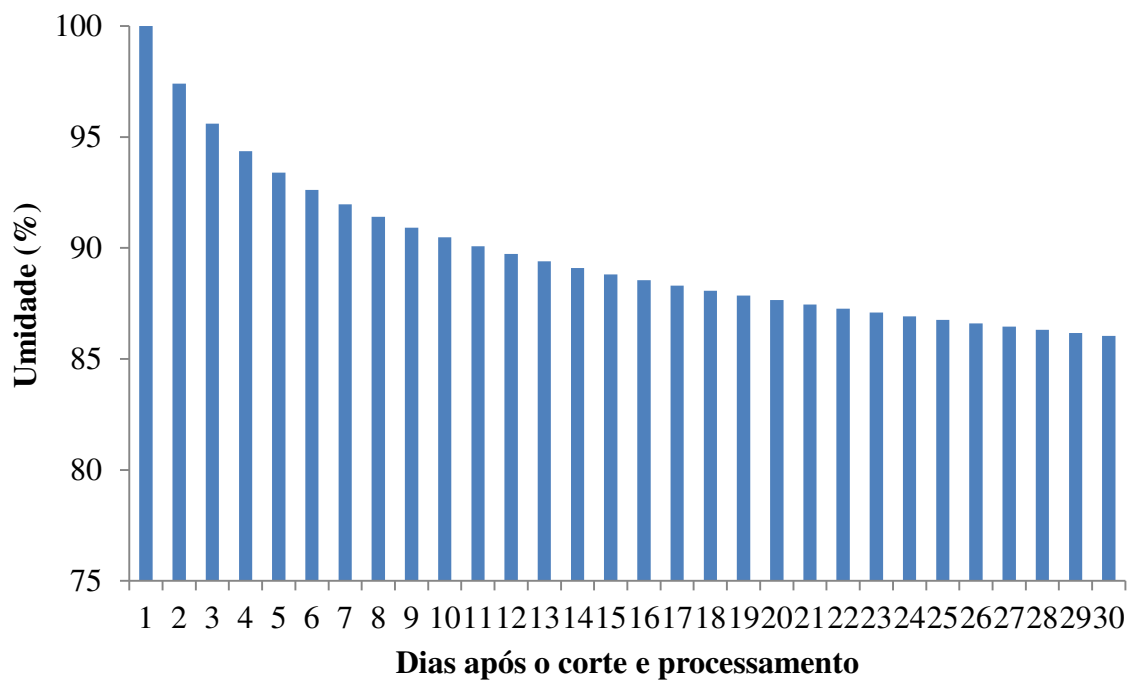


Figura 6 – Curva de secagem dos clones das áreas estudadas.

Assim, para analisar a influência da perda de umidade das toras, isto é, da diminuição da massa das toras em função da perda de umidade sobre o consumo do *Forwarder*, foram estudados seis tempos de secagem das toras, que corresponderam aos tratamentos testados (Tabela 2).

Tabela 2 – Tempo de secagem das toras após o abate e processamento.

Tratamento	Dias após o abate e processamento
TS5	5
TS10	10
TS15	15
TS20	20
TS25	25
TS30	30

Após as árvores serem abatidas e processadas pelo *Harvester* iniciou-se a contagem dos dias referente a cada tratamento. Portanto, ao passar dos dias após o abate (conforme os

tratamentos), a madeira foi extraída pelo *Forwarder* e seu consumo de combustível determinado durante estas operações, dentro de cada tratamento.

4.5 Coleta de dados/Delineamento experimental

Para a determinação do consumo de combustível dos *Forwarders* foram selecionadas dois locais de estudo, que se diferenciaram em relação ao sentido em que a extração da madeira ocorria (conforme relatado no item 4.1). Na Área I avaliou-se a extração no sentido do declive e na Área II a extração no sentido do aclave.

Visando isolar ao máximo os efeitos de fatores externos sobre os tratamentos, as áreas para instalação das parcelas amostrais foram selecionadas seguindo os seguintes critérios:

- Que todas as parcelas (dentro de cada área) fossem alocadas no mesmo talhão, garantindo assim o mesmo material genético e, conseqüentemente, as mesmas características (VMI, tamanho de bitola, densidade, curva de secagem, etc.) da madeira a ser extraída.
- Que todas as parcelas tivessem características edafoclimáticas e de relevo semelhantes (tipo de solo, declividade nos ramais de extração, radiação solar, temperatura, umidade do ar, etc.).

Após a seleção das áreas foram alocadas, dentro de cada uma, seis parcelas representando os seis tempos de secagem da madeira. As parcelas da Área I foram compostas por quatro ramais, de extração enquanto as parcelas da Área II foram compostas por cinco ramais de extração, em média 8000 m² cada.

As parcelas foram distribuídas de forma aleatória dentro da área de estudo, segundo um delineamento inteiramente casualizado, com dez repetições constituídas por cada ciclo operacional do *Forwarder*. O esquema da Figura 7 exemplifica a distribuição das parcelas experimentais dentro das áreas de estudo.

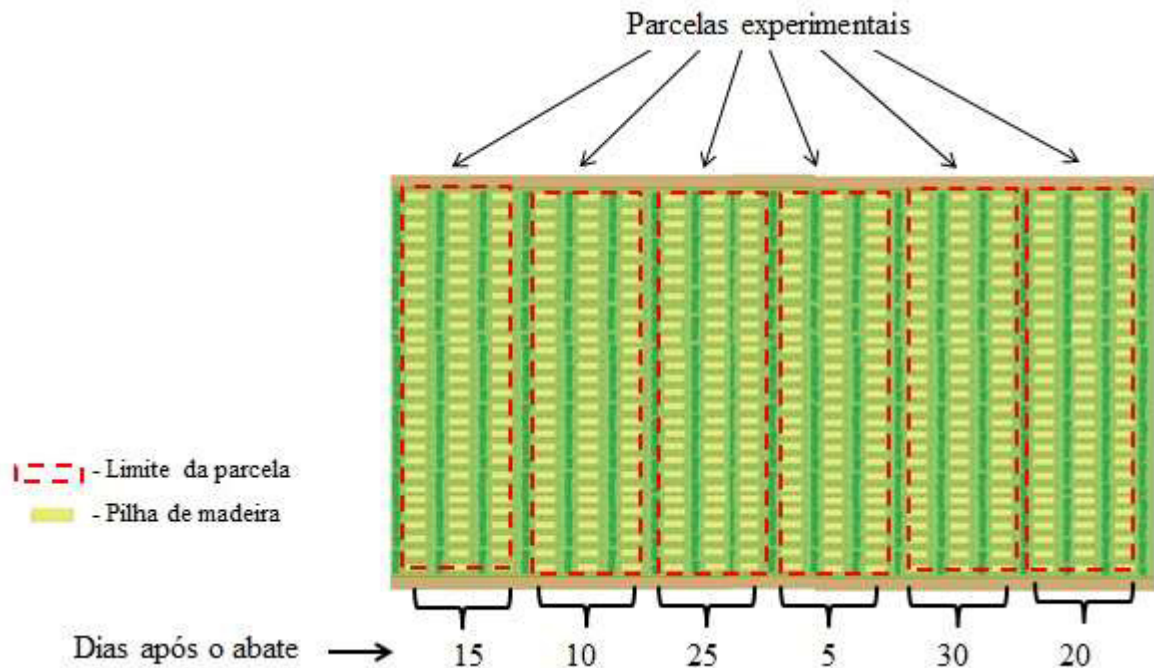


Figura 7 - Esquematização da casualização das parcelas na área experimental.

Os limites de todas as parcelas foram sinalizados com estacas pintadas com tinta refletiva cor laranja para facilitar a visualização por parte dos operadores das máquinas no interior do talhão. E na primeira pilha de madeira de cada parcela foi indicado, nas próprias toras, a data de corte e a data da extração visando garantir que a extração fosse realizada no tempo de secagem pré-determinado. Na Figura 8, observa-se uma parcela experimental, onde a linha pontilhada representa os limites da parcela.

Durante o período de coleta dos dados as máquinas foram operadas por cinco operadores distintos, do sexo masculino, treinados na função pela própria empresa e com a ampla experiência profissional na atividade. Cada operador foi instruído a executar a operação do *Forwarder* seguindo os procedimentos operacionais repassados em treinamento por parte da empresa, sendo o objetivo dessa instrução, evitar que os mesmos adotassem alguma manobra individual fora do padrão especificado e que, conseqüentemente, pudesse influenciar nos resultados. Os dados foram coletados no primeiro turno diurno de trabalho da empresa, de 8:00 às 16:00 horas, para os seis tratamentos avaliados.



Figura 8 – Foto ilustrativa de uma parcela experimental.

A fim de obter informações sobre o consumo de combustível para cada atividade desempenhada pelo *Forwarder* e suas interrupções, o ciclo operacional do mesmo foi dividido nas seguintes etapas / elementos, a saber:

Deslocamento vazio (DV) - inicia com o deslocamento do *Forwarder* vazio em direção as pilhas de madeira no interior do talhão, finaliza quando a máquina se posiciona ao lado da pilha e a lança começa a se mover para o autocarregamento;

Carregamento (CAR) – começa com o direcionamento da lança para a pilha de madeira e termina quando o *Forwarder* está totalmente carregado e a grua posicionada sobre a carga.

Deslocamento com carga (DC) – inicia com o deslocamento do *Forwarder* carregado em direção à margem da estrada, finaliza com a máquina posicionada ao lado do local onde a pilha está sendo formada e quando a lança começa a se mover para o autodescarregamento.

Descarregamento (DESCAR) – começa com direcionamento da lança para a madeira contida na caixa de carga, termina quando o *Forwarder* está completamente vazio e a lança está posicionada dentro da caixa de carga.

Limpeza – esta operação refere-se ao tempo gasto para retirada de resíduos e/ou outros obstáculos no local de formação de pilhas.

Interrupções – refere às paradas relacionadas a fatores operacionais ou não operacionais como: alimentação, hidratação, manutenção corretiva, manutenção preventiva, abastecimento da máquina, chuva, necessidades pessoais, entre outras.

A avaliação em campo dos elementos do ciclo operacional restringiu-se no registro do horário de início e de término de cada etapa / elemento, para posterior cruzamento com os dados obtidos por intermédio do computador de bordo. Para auxiliar na obtenção destas informações foram utilizados formulários específicos, conforme Anexo.

4.6 Consumo horário de combustível do *Forwarder*

Foi medido por intermédio de um sensor instalado na parte superior do filtro final de combustível, que monitora a pressão de combustível na saída deste. Tal sensor, por meio de sinais elétricos, envia essa informação para uma unidade de comando do motor (UCM). A UCM (composta por uma unidade autônoma com circuito eletrônico e um *software* de computador) capta os sinais elétricos e os convertem em sinais digitais, calculando o consumo instantâneo de combustível ($L h^{-1}$) a partir das informações dos sensores. Portanto, os resultados de consumo e outras informações são exibidas em tempo real, por intermédio do *TimberMatic*, na tela do computador de bordo da máquina (Figura 9).



Figura 9 – Imagem ilustrativa da tela do computador de bordo do *Forwarder*, sistema *TimberMatic*.

Desta forma, ao passo que o *Forwarder* executava as operações de extração ocorriam variações no consumo instantâneo de combustível da máquina (exibidas na tela do computador de bordo), as quais foram utilizadas para determinar o consumo horário de combustível dos *Forwarders*.

Seguindo o mesmo princípio utilizado para a obtenção do consumo horário de combustível, informações adicionais foram obtidas do computador de bordo da máquina, sendo elas: horário das operações, ângulo frontal e lateral da máquina, rotação do motor, distância percorrida e velocidade de deslocamento.

Para se registrar os dados de consumo de combustível e das informações adicionais a partir da tela do computador de bordo da máquina foi necessário instalar neste sistema, um *software* adicional denominado *WM Capture*[®]. Este *software* captura as informações projetadas na tela do computador em forma de *frames* (quadros de vídeo), com taxas de aproximadamente 50 *frames* por segundo e os convertem em arquivos de vídeos de alta qualidade.

Posteriormente, utilizando um programa desenvolvido no *software* SCILAB 6.0.2, os vídeos produzidos pelo *software* *WM Capture*[®] foram processados para a obtenção e tabulação das informações contidas neles de forma automatizada, confiável e precisa. Posteriormente, com auxílio do *software* SCILAB 6.0.2 realizou a leitura da informação contida na área selecionada, por intermédio da técnica de reconhecimento de padrões (Figura 10).



Figura 10 – Imagem ilustrativa do vídeo criado pelo *software WM Capture®*, com a marcação dos locais contendo cada informação a ser extraída pelo *software SCILAB 6.0.2*.

Após o processamento dos vídeos para obtenção das informações desejadas, estas foram tabuladas automaticamente em planilhas do *Excel®* (Figura 11). Posteriormente, as planilhas geradas foram confrontadas com as informações contidas nas fichas de campo, a fim de atribuir a cada informação da planilha sua operação correspondente (Figura 12).

	A	B	C	D	E	F	G
1	Hora	Inclinação Frontal	Inclinação Lateral	RPM	Combustível	Distância	Velocidade
2	08:20:00	14	0	1586	32,50	9	3,6
3	08:20:00	14	0	1595	39,00	10	3,5
4	08:21:00	16	1	1410	14,65	12	0
5	09:21:00	16	2	1420	16,09	12	0
6	08:22:00	15	3	1590	8,91	13	2,9
7	08:22:00	16	3	1520	9,73	14	2,9
8	08:23:00	16	2	1420	15,67	15	0
9	08:23:00	16	3	1420	16,83	15	0

Figura 11 – Exemplificação da planilha gerada automaticamente pelo *software* SCILAB após o processamento dos vídeos.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Ciclo	Operação	Hora	Inclinação Frontal	Inclinação Lateral	RPM	Combustível	Distância	Velocidade
2	1	Desl. vazio	08:20:00	14	0	1586	32,50	9	3,6
3	1	Desl. vazio	08:20:00	14	0	1595	39,00	10	3,5
4	1	Carreg	08:21:00	16	1	1410	14,65	12	0
5	1	Carreg	09:21:00	16	2	1420	16,09	12	0
6	1	Desl. Carreg.	08:22:00	15	3	1590	8,91	13	2,9
7	1	Desl. Carreg.	08:22:00	16	3	1520	9,73	14	2,9
8	1	Descarreg.	08:23:00	16	2	1420	15,67	15	0
9	1	Descarreg.	08:23:00	16	3	1420	16,83	15	0

Figura 12 – Exemplificação da planilha gerada automaticamente pelo *software* SCILAB após cruzamento com dados (horário de início e término de cada atividade) levantados em campo.

4.7 Análise estatística dos dados e estimativa de consumo

4.7.1 Análise estatística dos dados

Inicialmente os dados foram submetidos a uma análise exploratória. Posteriormente, estes foram submetidos aos testes não paramétricos de Wilcoxon-Mann-Whitney (para comparar dois grupos de médias) e Kruskal-Wallis (para comparar três ou mais grupos), a 5% de significância.

Para a análise entre os dados referente à extração no sentido do declive e a cive foi observado o critério de homogeneidade dos quadrados médios residuais entre experimentos, isto é, se os mesmos estavam numa relação máxima de 7:1 (BANZATTO E KRONKA, 2013).

Para as análises de regressão, inicialmente foi realizada uma análise exploratória a fim de verificar o comportamento dos valores do consumo horário de combustível em função dos tempos de secagem. Posteriormente, foram ajustados modelos de regressão linear simples.

4.7.2 Estimativa do consumo especificado de combustível do *Forwarder*

A partir dos dados de consumo horário calculou-se o volume de combustível gasto pelo *Forwarder* durante a execução de cada etapa / elemento do ciclo operacional, utilizando-se as seguintes equações:

Consumo de combustível por carregamento

Foi calculado pela seguinte equação:

$$CCcar = \left(\frac{TDcar}{60} \right) x CHCcar$$

em que:

CCcar = consumo de combustível por carregamento (L.Car⁻¹);

TDcar = tempo efetivo demandado para a realização do carregamento (min)

CHCcar = consumo horário de combustível durante o carregamento (L.h⁻¹).

Consumo de combustível por deslocamento vazio

Utilizou-se a seguinte equação:

$$CCdv = \left(\frac{\frac{DE}{1000}}{v} \right) x CHCdv$$

em que:

CCdv = consumo de combustível por deslocamento vazio (L.Dv⁻¹);

DE = distância de extração (m)

v = velocidade durante o deslocamento vazio (Km.h⁻¹)

CHCdv = consumo horário de combustível durante o deslocamento vazio (L.h⁻¹).

Consumo de combustível por descarregamento

Foi calculado pela seguinte equação:

$$CC_{descar} = \left(\frac{TD_{descar}}{60} \right) \times CHC_{descar}$$

em que:

CC_{descar} = consumo de combustível por descarregamento ($L \cdot Descar^{-1}$);

TD_{descar} = tempo efetivo demandado para a realização do descarregamento (min)

CHC_{descar} = consumo horário de combustível durante o descarregamento ($L \cdot h^{-1}$).

Consumo de combustível por deslocamento carregado

Utilizou-se a seguinte equação:

$$CC_{dc} = \left(\frac{\frac{DE}{1000}}{v} \right) \times CHC_{dc}$$

em que:

CC_{dc} = consumo de combustível por deslocamento carregado ($L \cdot Dc^{-1}$);

DE = distância de extração (m)

v = velocidade durante o deslocamento carregado ($Km \cdot h^{-1}$)

CHC_{dc} = consumo horário de combustível durante o deslocamento carregado ($L \cdot h^{-1}$).

O consumo especificado foi estimado em função do tempo demandado para a realização da atividade, quando do carregamento e descarregamento, e em função da distancia de extração, quando do deslocamento vazio e carregado. Os tempos demandados para a realização das atividades, bem como as distâncias de extração usadas nas formulas acima foram baseados em registros históricos da empresa (Tabela 3).

Tabela 3 – Dados históricos da empresa de tempos demandados para a realização do carregamento e descarregamento e de distâncias de extração.

Elemento do ciclo operacional	Tempo demandado em minutos					
	Carregamento	8	9	10	11	12
Descarregamento	4	5	6	7	8	9
	Distância de extração					
	Deslocamento vazio	50	100	150	200	250
Deslocamento carregado	50	100	150	200	250	300

Os dados de todos os tratamentos referentes aos tempos de secagem foram aleatorizados em grupos, sendo que a cada grupo foi atribuído um nível de tempo demandado (quando do carregamento e descarregamento) ou distancia de extração (quando do deslocamento vazio e carregado). Posteriormente, com os dados de consumo especificado, foram ajustados os modelos seguindo os mesmos procedimentos citados no item anterior.

Todas as análises foram realizadas com o auxílio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2019), pacote pgirmess (GIRAUDOUX, 2018) e pacote FSA (DINNO, 2019).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Consumo horário de combustível em função dos dias após abate

Devido a uma mudança na logística operacional da empresa, não foi possível coletar os dados referente ao consumo de combustível do *Forwarder* nos tratamentos com 25 e 30 dias após o abate das árvores, no experimento realizado na Área II, ou seja, com a extração ocorrendo no sentido do aclave.

Em relação ao consumo horário de combustível do *Forwarder* esperava-se que, o mesmo diminuísse ao passo que o intervalo de dias após o abate e o processamento das árvores fosse maior e o peso da madeira fosse menor, devido à perda de umidade. Pois quanto menor a massa da carga menor seria o esforço da máquina para executar as operações, diminuindo o consumo. No entanto, essa hipótese não foi confirmada pelos resultados obtidos, pois não houve diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos.

5.1.1 Consumo horário de combustível por elemento do ciclo operacional

Analisando os elementos do ciclo operacional do *Forwarder* separadamente nota-se que, o consumo horário de combustível teve comportamento semelhante ao longo dos dias após o abate das árvores, uma vez que os tratamentos não apresentaram diferenças estatisticamente significativas pelo teste de Kruskal-Wallis a 5 % de significância, tanto nos dados obtidos durante a extração no sentido do declive (Tabela 3) como na extração no sentido do aclave (Tabela 4).

Tabela 3 – Consumo horário de combustível por atividade e por ciclo operacional do *Forwarder*, durante a extração no sentido do declive, em função do tempo após o abate.

	Dias após o abate						CV(%)
	5	10	15	20	25	30	
Consumo de Combustível (L/h)							
Desl. vazio (subindo)	39,43 a	38,37 a	38,86 a	38,67 a	40,42 a	39,91 a	4,74
Carregamento	16,85 a	16,19 a	16,93 a	17,01 a	16,36 a	17,49 a	6,94
Desl. carregado (descendo)	7,51 a	8,62 a	8,63 a	8,66 a	9,09 a	8,82 a	14,35
Descarregamento	16,66 a	16,31 a	16,83 a	17,17 a	16,30 a	17,77 a	7,29
Ciclo operacional	18,74 ab	18,61 b	18,77 ab	19,09 ab	20,42 ab	20,57 a	8,98

Desl. : Deslocamento; CV: Coeficiente de variação. Letras distintas, na linha, indicam médias estatisticamente diferentes pelo teste de Dunn, a 5 % de significância.

Tabela 4 - Consumo horário de combustível por atividade e por ciclo operacional do *Forwarder*, durante a extração no sentido do aclave, em função do tempo após o abate.

	Dias após o abate						CV(%)
	5	10	15	20	25	30	
Consumo horário de Combustível (L/h)							
Desl. vazio (descendo)	7,64 a	6,36 a	6,50 a	6,59 a	-	-	14,86
Carregamento	16,39 a	16,34 a	16,08 a	17,29 a	-	-	7,42
Desl. carregado (subindo)	41,09 a	41,10 a	41,27 a	41,76 a	-	-	3,78
Descarregamento	16,39 a	16,36 a	16,39 a	17,33 a	-	-	6,89
Ciclo operacional	19,66 b	19,14 b	20,45 ab	21,78 a	-	-	8,80

Desl. : Deslocamento; CV: Coeficiente de variação. Valores marcados com a mesma letra na linha não diferem estatisticamente pela comparação de pares do teste de Dunn, a 5 % de significância.

A ação isolada ou combinação de alguns fatores podem explicar estes resultados. Uma das razões pode estar relacionada com a potência das máquinas avaliadas. Pelos resultados é possível inferir que tais máquinas possuem potencia suficiente para operar com fluidez mesmo com diferentes massas de carga. Ou seja, as variações no peso da madeira, proveniente da variação de sua umidade ao longo dos dias após o abate não foram suficientes para influenciar a exigência de força das máquinas e, conseqüentemente, o consumo de combustível. O fato das máquinas transportarem cargas com massa inferior a sua capacidade

máxima reforça essa hipótese. O volume médio de madeira transportada pelo *Forwarder* por ciclo operacional é de 15,0 m³ (valor estimado pela empresa). Assim, considerando a densidade básica das madeiras extraídas (508,65 e 517,83 kg/m³), cada *Forwarder* transporta cargas com massas de aproximadamente 7629,75 a 7767,45 kg, enquanto essas máquinas têm capacidade para transportar até 19.000 kg.

Outro motivo que pode ter contribuído para o resultado encontrado, está relacionado com o sistema de economia de combustível existente nas máquinas estudadas. Este sistema, chamado Modo ECO, ajusta a velocidade de deslocamento e as rotações por minuto (RPMs) do motor até um nível no qual a economia de combustível e a potência sejam as mais adequadas (ótimas) para a situação atual. Ao mesmo tempo, o modo ECO também proporciona uma condução mais lenta do que normal e, por isso, mais precisa, sem variações bruscas de RPMs do motor. Portanto, mesmo o operador pressionado o pedal de aceleração de forma incisiva, não ocorre arrancadas bruscas e desnecessárias. Dessa maneira, as RPMs e, conseqüentemente, a velocidade é mantida em um nível ótimo para a máxima economia de combustível. A recomendação da empresa é que ao operar em áreas padrão (de 0° a 28° de inclinação), que é o caso das áreas de estudo, as máquinas permaneçam com o modo ECO ativado.

Uma terceira razão que pode ajudar a explicar o resultado refere-se ao intervalo de dias após o abate adotado nos tratamentos. Nota-se, pela curva de secagem, que as madeiras estudadas apresentam uma perda de umidade muita acentuada do primeiro ao quinto dia após o abate, equivalente a 7%. Enquanto que do 5° ao 10° dia a queda de umidade da madeira foi de 3%; do 10° ao 15° dia foi 1,7%; do 15° ao 20° dia foi 1,2%; do 20° ao 25° dia foi 1,0% e do 25° ao 30° dia foi 0,7%. Portanto, nota-se, que entre os intervalos adotados nos tratamentos houve mudanças mais brandas na umidade da madeira e, conseqüente, pequenas mudanças nas massas das cargas do *Forwarder*, o que provavelmente contribuiu para o resultado encontrado.

Outra informação importante observada ao longo deste trabalho foi o limite máximo de consumo instantâneo de 44,9 L h⁻¹. Isso implica que ao executar qualquer uma das operações estudadas, o consumo horário de combustível das máquinas não ultrapassa 44,9 L.h⁻¹.

5.1.2 Consumo horário de combustível por ciclo operacional

Nas Tabelas 3 e 4 podem ser observadas também as médias do consumo horário de combustível durante o ciclo operacional do *Forwarder* operando tanto na extração sentido declive quanto na extração sentido aclave.

O consumo horário de combustível por ciclo operacional do *Forwarder* também não foi alterado inversamente com o aumento dos dias após o abate em que a madeira permaneceu no campo até ser extraída. Pelo contrário, verificou-se que houve um leve aumento do consumo durante os tratamentos com os maiores números de dias, quando a madeira estava com menos umidade e, provavelmente, mais leve.

As maiores médias de consumo horário de combustível do *Forwarder* ao executar a extração no sentido do declive foram encontradas nos tratamentos com os maiores números de dias após o abate. No entanto, ocorreu diferença significativa apenas entre os tratamentos TS30 e TS10, sendo os demais tratamentos estatisticamente iguais (Tabela 3).

Na extração no sentido do aclave o consumo horário de combustível aos 20 dias após o abate (TS20) não diferiu do consumo os 15 dias (TS15), mas foi significativamente maior que o consumo aos 5 e 10 dias (TS5 e TS10), os quais não se diferenciaram estatisticamente entre si (Tabela 4).

Estes resultados sugerem que, provavelmente, as diferenças observadas entre tratamentos não sejam provenientes diretamente do tempo de permanência da madeira no campo após o abate. E, portanto, outros fatores não considerados neste estudo podem ter contribuído para alterar o consumo de combustível das máquinas. A ocorrência de patinação do sistema de rodados e pequenas irregularidades e desuniformidades do terreno, por exemplo, podem ter aumentado o consumo de combustível das máquinas durante os deslocamentos.

A quantidade de madeira pinçada durante o carregamento e descarregamento também pode contribuir para alterar o consumo de combustível das máquinas. Tanto por observação em campo quanto em entrevista aos operadores foi constatado que, nos menores tempos após o abate (5 e 10 dias principalmente) os operadores optam por pinçar menor quantidade de toras por vez, durante o carregamento e descarregamento. As toras recentemente cortadas, além de mais pesadas são também mais escorregadias e se soltam mais facilmente do feixe içado pela grua. Tal fato, além de aumentar o risco de acidentes com toras deslizando sobre a máquina, pode culminar em retrabalho, pois quando uma ou mais toras se soltam do feixe içado, todo o feixe pode se desfazer, sendo necessário o recolhimento das toras novamente. Já

com a madeira mais seca e, provavelmente, mais leve, o içamento além de mais seguro permite o recolhimento de mais toras por vez, o que pode aumentar o consumo de combustível.

As equações de regressão linear que relaciona consumo horário de combustível com o tempo de secagem da madeira, juntamente com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2), encontram-se na Figura 13, tanto para a extração no sentido do declive, quanto para extração no sentido do aclave. Houve proporcionalidade positiva na qual, quanto maior o tempo de secagem da madeira maior o consumo horário de combustível, conforme explicações anteriores.

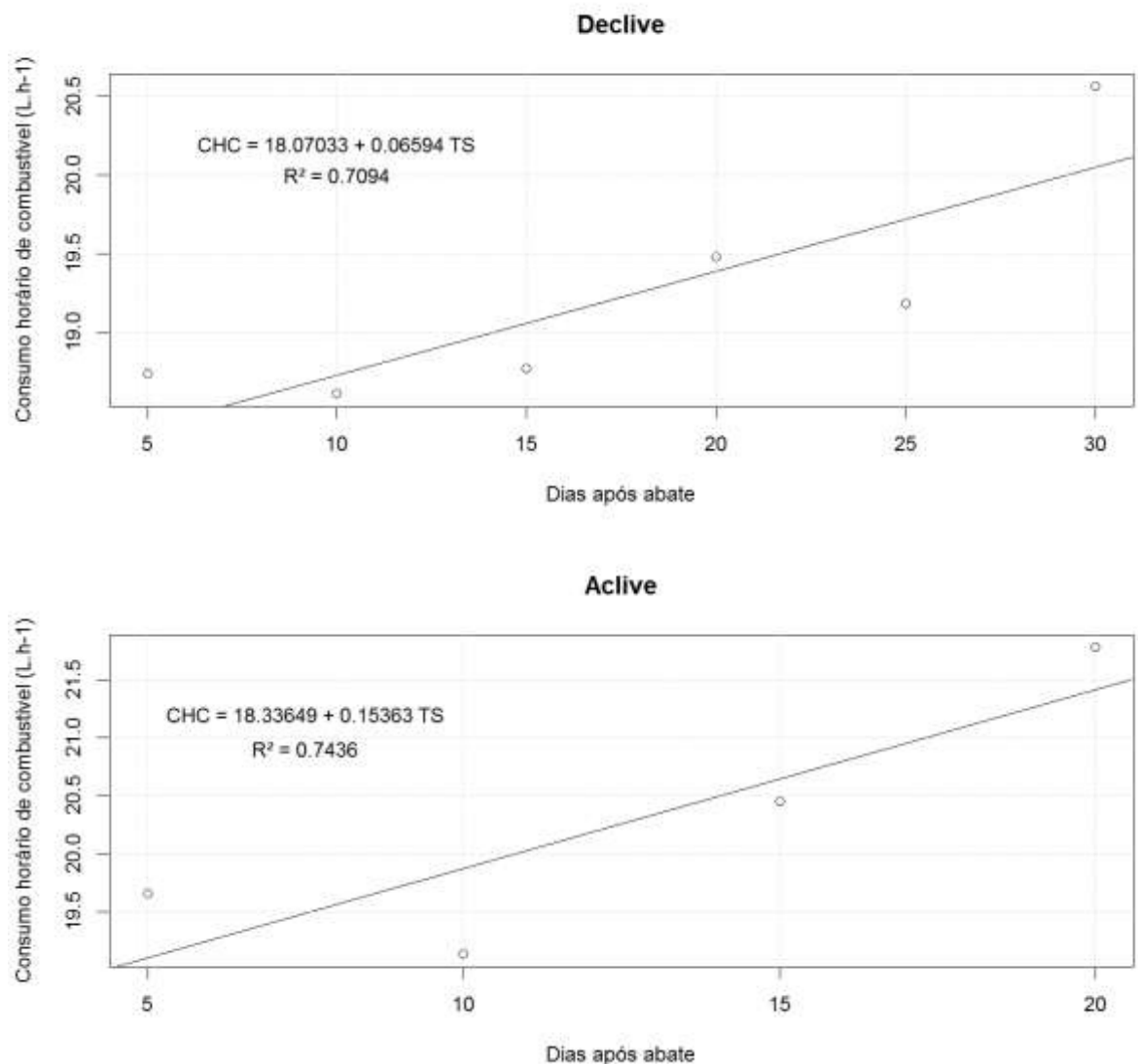


Figura 13 - Relação entre o consumo horário de combustível e os dias após o abate das árvores, para a extração sentido declive e aclave.

Embora o R^2 indique bons ajustes das equações de regressão, os resultados observados indicam que a variação no consumo de combustível não pode ser explicada diretamente pelo tempo de secagem da madeira no campo. E, portanto, pode-se inferir que o tempo de secagem da madeira, isto é, o número de dias que a madeira permanece no campo após o abate não é preditor adequado do consumo de combustível.

5.1.3 Consumo horário de combustível por sentido de extração

5.1.3.1 Extração no sentido do declive

O gráfico da Figura 14 mostra a média de consumo horário de combustível do *Forwarder* para cada elemento do ciclo operacional quando a extração aconteceu no sentido do declive, isto é, quando o *Forwarder* subiu vazio de ré e desceu carregado de frente, considerando todos os tratamentos. O deslocamento da máquina subindo vazia apresentou a maior média de consumo por hora dentre todos os elementos do ciclo. Ao subir a máquina requer maior esforço do motor para vencer a inclinação do ramal de extração, aumentando, assim, o consumo de combustível.

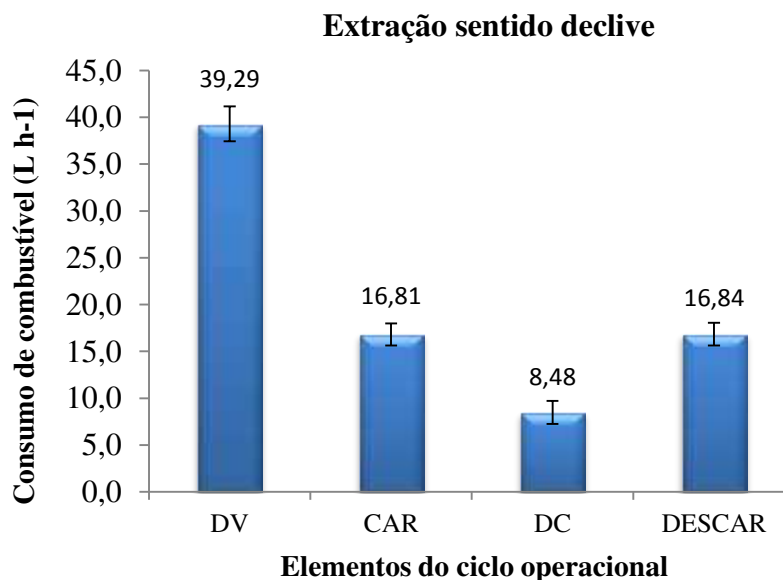


Figura 14 – Médias de consumo horário de combustível do *Forwarder* para cada elemento do ciclo operacional durante a extração no sentido do declive. DV: Deslocamento vazio; CAR: Carregamento; DC: Deslocamento carregado; DESCAR: Descarregamento.

Contrariamente, o deslocamento descendo carregado apresentou a menor média de consumo horário. Isso ocorre pelo fato de que a máquina ao descer, mesmo estando carregada encontra menos resistência ao seu movimento, com isso requer menos esforço do motor e, conseqüentemente, consome menos combustível, mesmo estando carregada. Indicando, portanto, que na extração em declive a inclinação do terreno afeta mais o consumo de combustível da máquina do que a carga transportada.

O consumo horário médio para o carregamento e descarregamento foi 16,81 e 16,84 L.h⁻¹, respectivamente. Resultado natural, uma vez que a máquina durante essas duas operações, trabalha praticamente parada, por isso não requer altas rotações para se movimentar, sendo mantida apenas a rotação de trabalho que é suficiente para fornecer a potência necessária ao movimento da grua durante o recolhimento e ao içamento das toras.

5.1.3.2 Extração no sentido do Active

O gráfico da Figura 15 mostra a média de consumo horário de combustível do *Forwarder* para cada elemento do ciclo operacional quando a extração aconteceu no sentido do active, isto é, quando o *Forwarder* desceu vazio de frente e subiu carregado de ré, considerando todos os tratamentos.

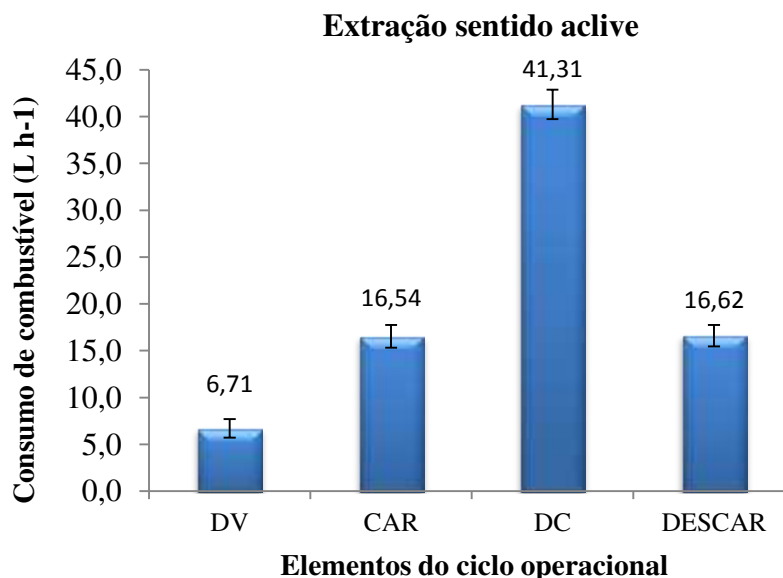


Figura 15 – Médias de consumo horário de combustível do *Forwarder* para cada elemento do ciclo operacional durante a extração no sentido do declive. DV: Deslocamento vazio; CAR: Carregamento; DC: Deslocamento carregado; DESCAR: Descarregamento.

Quando o *Forwarder* foi conduzido vazio descendo, atingiu-se o menor valor de consumo horário de combustível dentre os elementos do ciclo operacional. Como já mencionado, ao descer, a máquina encontra menor resistência ao seu movimento, com isso requer menos esforço do motor e, conseqüentemente, consome menos combustível.

Por outro lado, durante o deslocamento subindo carregado atingiu-se a maior média de consumo horário de combustível. O esforço da máquina para vencer a declividade do ramal de extração somado ao esforço para transportar a carga exige maior dispêndio de energia do motor, aumentando o consumo de combustível.

Os valores médios do consumo horário de combustível durante as operações de carregamento e descarregamento na extração no sentido do aclave foram semelhantes ao da extração no sentido do declive, média de 16,54 e 16,62 L.h⁻¹. Indicando que o sentido da extração não altera o consumo de combustível nas operações de carregamento e descarregamento.

5.1.3.3 Extração no sentido do declive *versus* aclave

O consumo horário de combustível por ciclo durante a extração sentido aclave foi estatisticamente superior ao consumo quando a extração ocorreu no sentido do declive (Figura 16). Nota-se um aumento no consumo de 0,89 L.h⁻¹.

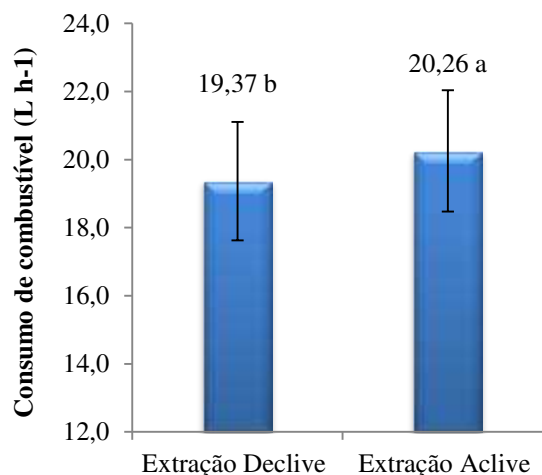


Figura 16 – Consumo horário de combustível por ciclo durante a extração sentido declive e aclave. CV = 8,9%. Letras distintas entre colunas diferem pelo teste de *Wilcoxon*, a 5 % de significância.

5.1.4 Consumo horário de combustível por sentido de deslocamento

Ao comparar o deslocamento vazio da máquina morro acima (DV na extração sentido declive) com o deslocamento carregado também morro acima (DC na extração sentido ativo) nota-se que houve aumento de $2,38 \text{ L h}^{-1}$ (Figura 17). Nesta situação as máquinas trabalharam em rotações semelhantes. No entanto, a que estava subindo carregada se deslocou duas vezes mais lentamente e, ainda assim, apresentou consumo de combustível superior. Tal resultado permite inferir que houve forte influência da carga sobre o gasto de combustível.

Confrontando os dados de consumo horário de combustível quando o *Forwarder* se deslocava descendo vazio (DV na extração sentido ativo) com o *Forwarder* também descendo, porém carregado (DC na extração sentido declive), verificou-se que houve aumento no consumo de $1,8 \text{ L h}^{-1}$ (Figura 18). A rotação do motor foi inferior na máquina que subiu carregada, no entanto, esta se deslocou em maior velocidade. Portanto, o aumento no consumo observado pode ser atribuído tanto à carga quanto a velocidade de deslocamento da máquina.

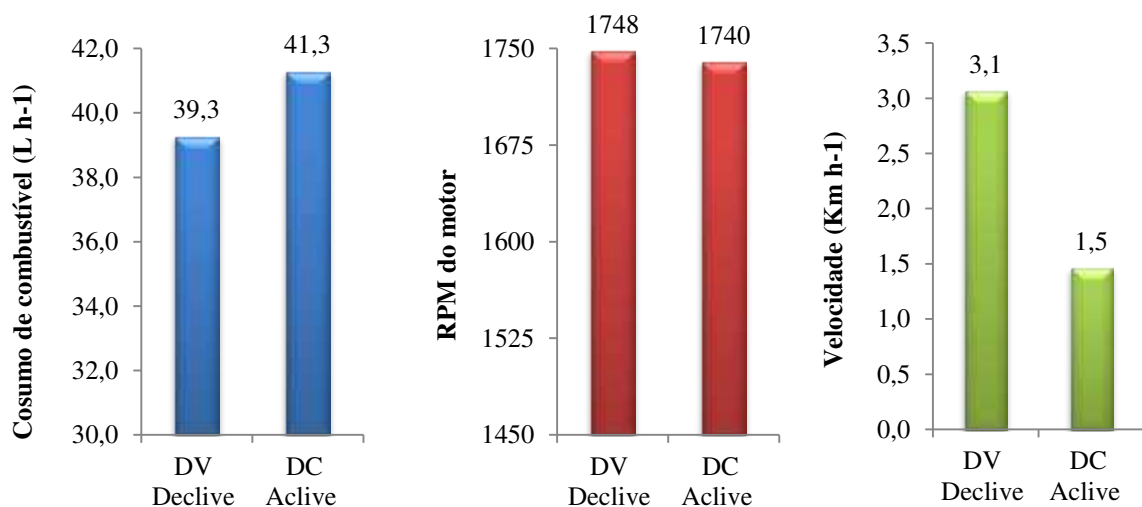


Figura 17 – Consumo horário de combustível no deslocamento sentido do aclive. CV Combustível = 4,36 %; CV RPM = 4,16 %; CV Velocidade = 10,28.

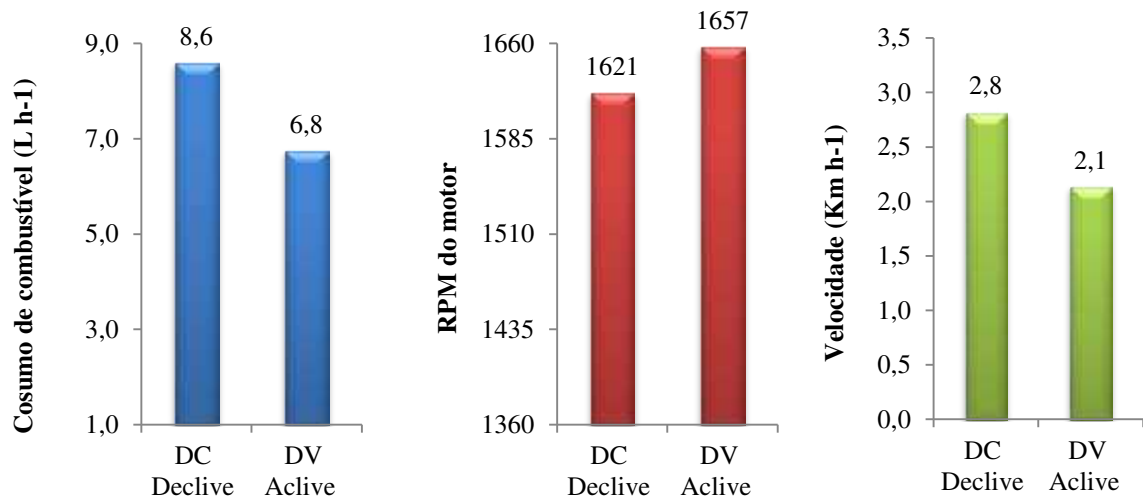


Figura 18 – Consumo horário de combustível no deslocamento sentido do declive. . CV Combustível = 14,58 %; CV RPM = 6,81 %; CV Velocidade = 19,99.

5.2 Estimativa do consumo especificado de combustível

Os modelos para predição do consumo especificado de combustível do *Forwarder* operando na extração sentido do declive podem ser observados na Tabela 5, juntamente com seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) ajustados. E na Tabela 6 podem ser observados estes modelos para o *Forwarder* operando na extração sentido do aclave.

Tabela 5 - Equações ajustadas para determinação do consumo especificado de combustível do *Forwarder* na extração sentido do declive.

Elemento do ciclo operacional	Equação	R^2
Deslocamento vazio	$CC_{dv} = 0,0298939 + 0,0124667 * DE$	0,97
Carregamento	$CC_{car} = -0,25038 + 0,30521 * T_{car}$	0,87
Deslocamento carregado	$CC_{dc} = -0,0013789 + 0,0030216 * DE$	0,93
Descarregamento	$CC_{descar} = -0,02604 + 0,28488 * T_{descar}$	0,92

CC_{dv} , car , dc , $descar$ = consumo de combustível (L) no deslocamento vazio, carregamento, deslocamento carregado e descarregamento, respectivamente; DE = Distancia de extração; T_{car} , $descar$ = tempo de operação do carregamento e descarregamento (min) , respectivamente.

Tabela 6 - Equações ajustadas para determinação do consumo específico de combustível do *Forwarder* na extração sentido do active.

Elemento do ciclo	Equação	R ²
Deslocamento vazio	$CC_{dv} = 0,0110158 + 0,0025975*DE$	0,85
Carregamento	$CC_{car} = 0,01908 + 0,27383*T_{car}$	0,82
Deslocamento carregado	$CC_{dc} = -0,049642 + 0,028411*DE$	0,95
Descarregamento	$CC_{descar} = 0,03257 + 0,27161*T_{descar}$	0,93

CC_{dv}, car, dc, descar = consumo de combustível (L) no deslocamento vazio, carregamento, deslocamento carregado e descarregamento, respectivamente; DE = Distancia de extração; T_{car}, descar = tempo de operação do carregamento e descarregamento (min) , respectivamente.

Nota-se que todas as equações ajustadas estimaram adequadamente o consumo de combustível em função de suas respectivas variáveis independentes (tempo demandado ou distancia de extração), pois apresentaram valores de R² ajustados (%) altos.

Verifica-se que nas operações de deslocamento, em ambos os sentidos de extração, o consumo do *Forwarder* sofreu influencia das distâncias de extração, sendo uma relação diretamente proporcional. No deslocamento vazio subindo ocorre, em média, um aumento de 0,64 litros de combustível a cada 50 m percorridos. Deslocando-se nesse mesmo sentido, porém carregado, ocorre um aumento de 1,42 litros a cada 50 m. No deslocamento do *Forwarder* descendo vazio observa-se um aumento no consumo de 0,13 litros a cada 50 m percorridos, enquanto que neste mesmo sentido, porém carregado, ocorre um aumento de 0,15 litros a cada 50 m.

O consumo de combustível durante as operações de carregamento e descarregamento, naturalmente, sofrem influencia do tempo demandado para a execução da atividade ocorrendo, em média, um aumento de 0,3 litros no consumo a cada 1 minuto de operação, para ambas as operações e sentido de extração.

Estes resultados fornecem subsídios importantes para o planejamento das operações da extração de madeira da empresa, principalmente no que tange a fatores econômicos. O consumo de combustível está intimamente relacionado com os custos operacionais da colheita. Portanto, conhecer, mesmo que parcialmente, os custos envolvidos nas operações é importante na tomada de decisão. Tais informações podem auxiliar, por exemplo, a identificar as situações nas quais a extração deixa de ser vantajosa devido ao aumento do consumo de combustível a um limite que supere o valor da madeira extraída. Sendo necessária a adoção de medidas para reduzir o consumo de combustível como a construção de estradas temporárias ou definitivas, a otimização de rotas, entre outras.

Estas informações juntamente com os dados da floresta a ser colhida permitem prever os custos com combustível para as operações de extração, possibilitando a ordenação antecipada de recursos financeiros para essa atividade. Permitem também, o acompanhamento e controle da atividade quanto a sua viabilidade econômica, a fim de garantir a extração da madeira a custos (com combustível) compatíveis com o planejado.

As Tabelas 7 e 8 apresentam o consumo de combustível (L.Ciclo⁻¹) estimado para o *Forwarder* em função da distância de extração e do tempo demandado para operação de carregamento e descarregamento, para a extração no sentido do declive e aclone, respectivamente.

Tabela 7 – Consumo de combustível (L.Ciclo⁻¹) estimado para o *Forwarder* em função da distância de extração e do tempo demandado para operação de carregamento e descarregamento, para a extração no sentido do declive.

		Distância de extração (metros)																											
		50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300		
Tempo de carregamento (min)	8	4,1	4,3	4,4	4,6	4,7	4,9	5,0	5,2	5,3	5,5	5,7	5,8	6,0	6,1	6,3	6,4	6,6	6,7	6,9	7,1	7,2	7,4	7,5	7,7	7,8	8,0	4	Tempo de descarregamento (min)
	9	4,7	4,9	5,0	5,2	5,3	5,5	5,6	5,8	5,9	6,1	6,2	6,4	6,6	6,7	6,9	7,0	7,2	7,3	7,5	7,6	7,8	8,0	8,1	8,3	8,4	8,6	5	
	10	5,3	5,4	5,6	5,8	5,9	6,1	6,2	6,4	6,5	6,7	6,8	7,0	7,1	7,3	7,5	7,6	7,8	7,9	8,1	8,2	8,4	8,5	8,7	8,9	9,0	9,2	6	
	11	5,9	6,0	6,2	6,3	6,5	6,7	6,8	7,0	7,1	7,3	7,4	7,6	7,7	7,9	8,0	8,2	8,4	8,5	8,7	8,8	9,0	9,1	9,3	9,4	9,6	9,8	7	
	12	6,5	6,6	6,8	6,9	7,1	7,2	7,4	7,6	7,7	7,9	8,0	8,2	8,3	8,5	8,6	8,8	8,9	9,1	9,3	9,4	9,6	9,7	9,9	10,0	10,2	10,3	8	
	13	7,1	7,2	7,4	7,5	7,7	7,8	8,0	8,1	8,3	8,5	8,6	8,8	8,9	9,1	9,2	9,4	9,5	9,7	9,8	10,0	10,2	10,3	10,5	10,6	10,8	10,9	9	
	14	7,6	7,8	8,0	8,1	8,3	8,4	8,6	8,7	8,9	9,0	9,2	9,4	9,5	9,7	9,8	10,0	10,1	10,3	10,4	10,6	10,7	10,9	11,1	11,2	11,4	11,5	10	
	15	8,2	8,4	8,5	8,7	8,9	9,0	9,2	9,3	9,5	9,6	9,8	9,9	10,1	10,3	10,4	10,6	10,7	10,9	11,0	11,2	11,3	11,5	11,6	11,8	12,0	12,1	11	

Tabela 8 – Consumo de combustível (L.Ciclo⁻¹) estimado para o *Forwarder* em função da distância de extração e do tempo demandado para operação de carregamento e descarregamento, para a extração no sentido do aclave.

		Distância de extração (metros)																											
		50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300		
Tempo de carregamento (min)	8	4,8	5,2	5,5	5,8	6,1	6,4	6,7	7,0	7,3	7,6	7,9	8,3	8,6	8,9	9,2	9,5	9,8	10,1	10,4	10,7	11,0	11,4	11,7	12,0	12,3	12,6	4	Tempo de descarregamento (min)
	9	5,4	5,7	6,0	6,3	6,6	6,9	7,2	7,6	7,9	8,2	8,5	8,8	9,1	9,4	9,7	10,0	10,3	10,7	11,0	11,3	11,6	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1	5	
	10	5,9	6,2	6,6	6,9	7,2	7,5	7,8	8,1	8,4	8,7	9,0	9,3	9,7	10,0	10,3	10,6	10,9	11,2	11,5	11,8	12,1	12,4	12,8	13,1	13,4	13,7	6	
	11	6,5	6,8	7,1	7,4	7,7	8,0	8,3	8,6	9,0	9,3	9,6	9,9	10,2	10,5	10,8	11,1	11,4	11,7	12,1	12,4	12,7	13,0	13,3	13,6	13,9	14,2	7	
	12	7,0	7,3	7,6	8,0	8,3	8,6	8,9	9,2	9,5	9,8	10,1	10,4	10,7	11,1	11,4	11,7	12,0	12,3	12,6	12,9	13,2	13,5	13,8	14,2	14,5	14,8	8	
	13	7,6	7,9	8,2	8,5	8,8	9,1	9,4	9,7	10,0	10,4	10,7	11,0	11,3	11,6	11,9	12,2	12,5	12,8	13,1	13,5	13,8	14,1	14,4	14,7	15,0	15,3	9	
	14	8,1	8,4	8,7	9,0	9,4	9,7	10,0	10,3	10,6	10,9	11,2	11,5	11,8	12,1	12,5	12,8	13,1	13,4	13,7	14,0	14,3	14,6	14,9	15,2	15,6	15,9	10	
	15	8,7	9,0	9,3	9,6	9,9	10,2	10,5	10,8	11,1	11,4	11,8	12,1	12,4	12,7	13,0	13,3	13,6	13,9	14,2	14,6	14,9	15,2	15,5	15,8	16,1	16,4	11	

6. CONCLUSÕES

O tempo de secagem da madeira não influenciou diretamente o consumo de combustível do *Forwarder* conforme o esperado e, portanto, essa variável não se mostrou um preditor adequado do consumo de combustível.

O consumo de combustível do *Forwarder* foi diferente entre as operações de deslocamento vazio e carregado, sendo a ordem de consumo dependente do sentido de extração.

Considerando o ciclo operacional como um todo, o *Forwarder* apresentou maior consumo horário de combustível ao executar a extração no sentido do aclave, apresentando aumento de $0,89 \text{ L.h}^{-1}$.

A modelagem quantificou a influência direta da distância de extração (DE) no aumento do consumo especificado de combustível (CEC) do *Forwarder* durante as operações de deslocamento e, portanto, estudos complementares que visem a otimização da DE são fundamentais na redução do CEC e de custos de produção.

A modelagem demonstrou a influência direta do tempo das operações do carregamento (TC) e do descarregamento (TD) no aumento do consumo especificado de combustível do *Forwarder* e, portanto, estudos complementares que visem a redução no tempo de execução dessas atividades também são importantes na redução do CEC e de custos de produção.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, V. A.; GARCIA, J. N.; BARBOSA, J. C.; GAVA, M.; SAVI, A. F.; MORALES, E. A. M.; ROCCO LAHR, F. A.; VASCONCELOS, J. S.; CHRISTOFORO, A. L. Importância da madeira de florestas plantadas para a indústria de manufaturados. *Pesquisa Florestal Brasileira*, v. 37, n. 90, p. 189, 2017.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. **Experimentação agrícola**. 4. ed. reimpr. Jaboticabal: FUNEP. 2013. 237 p.

HOEFLICH, V. A. Desenvolvimento florestal sustentável: requerimentos de uma sociedade. Colombo: Embrapa Florestas, 2006. 38 p. (Embrapa Florestas. Documentos, 138).

IBA: INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Brasília, DF, 2018. Sumário executivo 2018. 6 p. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/digital-sumarioexecutivo-2018.pdf>

JACOVINE, L. A. G. et al. Avaliação da perda de madeira em cinco subsistemas de colheita florestal. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 29, n. 3, p. 391-400, 2005.

LACERDA, L. C.; FIEDLER, N. C.; CHICHORRO, J. F.; CARMO, F. C. A.; MENDONÇA, A. R. Análise operacional da extração florestal mecanizada em módulos próprios e terceirizados. **Nativa**, Sinop, v. 03, n. 03, p. 205-209, jul./set. 2015.

LEITE, E. D. S. **Modelagem técnica e econômica de um sistema de colheita florestal mecanizada de toras curtas**. 2012. 130 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2012.

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

LEITE, E. D. S.; MINETTE, L. J.; FERNANDES, H. C.; SOUZA, A. P. D.; AMARAL, E. J. D.; LACERDA, E. D. G. Desempenho do *harvester* na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 1, p. 1-7, 2014.

LIMA, J. S. S.; LEITE, A. M. P. Mecanização. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2014. p.43-65.

LOPES, A. et al. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.2, p.382-386, Campina Grande, PB, 2003.

LOPES, E. S.; OLIVEIRA, D. O.; SILVA, P. C.; CHIQUETTO, A. L. Avaliação do desempenho de operadores no treinamento com simulador virtual Forwarder. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 177-186, 2010.

LOPES, E.; S. OLIVEIRA, D.; CARLA KRULIKOWSKI RODRIGUES, C. K.; DRINKO, C. H. F. Análise técnica e de custos do *Harvester* e *Forwarder* em um povoamento de eucalipto. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11 n.21; p. 159, 2015.

MACHADO, C.C.; SILVA, E.N. da; PEREIRA, R.S.; CASTRO G.P. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C.C. **Colheita florestal**. 3ed. Viçosa: UFV, 2014. p.15-45.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; CASTRO, G. P. Sistemas. In: MACHADO, C. C. (Org). **Colheita Florestal**. Viçosa, MG: Editora UFV, 2014. p. 178-205.

MINETTE, L. J.; MOREIRA, F. M. T.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; SILVA, K. R. Análise técnica e econômica do forwarder em três subsistemas de colheita em florestas de eucalipto. **Árvore**, v.28, n.1, p. 91-297, 2004.

MINETTE, L. J.; SILVA, E. N.; MIRANDA, G. M.; SOUZA, A. P.; FIEDLER, N. C. Avaliação técnica da operação de extração de *Eucalyptus* spp. utilizando o trator autocarregável e o trator florestal transportador “forwarder” na região sul da Bahia. **Engenharia na Agricultura**, v.16, n.3, p. 312-312, 2008.

MIYAJIMA, R.H.; TONIN, P.R.; FENNER, P.T.; SIMÕES, D. Análise quantitativa do risco técnico-econômico de um trator florestal Skidder. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 2 n. Especial I MECFOR p. 06-11, 2017.

MONTEIRO, H. M.; BROWN, R. O.; ROBERT, R. C. G. Lean manufacturing na atividade de colheita florestal. **Conhecimento Interativo**, São José dos Pinhais, PR, v. 10, n. 2, p. 27-37, jul./dez. 2016.

NORDFJELL, T.; ATHANASSIADIS, D.; TALBOT, B. Fuel consumption in forwarders. **Int J Forest Eng** 14 (2): 11-20, 2003.

OGLE, D. H.; P. WHEELER, A. DINNO., 2019. FSA: Fisheries Stock Analysis. R package version 0.8.24, <https://github.com/droglenc/FSA>.

OLIVEIRA, J. R. E. D.; MORAIS FILHO, A. D. Consumo de combustíveis e lubrificantes em atividades diretas e indiretas de colheita e transporte florestal. **Revista Científica Eletrônica de Ciências Agrárias da FAIT**, Itapeva, SP, Ano II, Número 03, 2006.

OLIVEIRA, Y. M. M.; OLIVEIRA, E. B. Plantações florestais: geração de benefícios com baixo impacto ambiental. 1 ed. Brasília, DF: Editora Embrapa, 2017. 115 p.

PANDUR, Z.; ŠUŠNJAR, M.; BAČIĆ, M.; LEPOGLAVEC, K.; NEVEČEREL, H; ĐUKA, A. Fuel Consumption of Forwarders in Lowland Forests of Pedunculate Oak. *South-east Eur for* 9 (1): 73-80, 2018. DOI: <https://doi.org/10.15177/seefor.18-07>

PATRICK GIRAUDOUX, 2018. *pgirmess: Spatial Analysis and Data Mining for Field Ecologists*. R package version 1.6.9. <https://CRAN.R-project.org/package=pgirmess>

PAULA, E. N. D. S. O. D. **Avaliação técnica, de custos e ambiental de dois modelos de harvester na colheita florestal**. 2011. 82 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

R CORE TEAM (2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.

ROBERT, R. C. G. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita mecanizada em plantios de *Eucalyptus* spp. m duas condições de relevo acidentado**. 2013. 112 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, MG, 2013.

RODRIGUES, C. K.; LOPES, E. S. Análise espacial da compactação do solo causada pelo sistema de colheita de madeira de árvores inteiras. **Rev. Ceres**, Viçosa, v. 65, n.3, p. 227-233, mai/jun, 2018.

SANTOS, L. N.; FERNANDES, H. C.; SILVA, M. L.; TEIXEIRA, M. M.; SOUZA, A. P. **Avaliação de custos da operação de extração da madeira com forwarder**. *CERNE*, vol.22, no.1, Lavras, Jan./Mar. 2016.

SANTOS, L.N. **Predição do consumo específico de combustível do Harvester utilizando modelos lineares neuronais mistos e redes artificiais**. 2018. 58 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2018.

SCORUPSKI, A. J.; OLIVEIRA, F. M.; DINIZ, C. C. C.; LOPES, E. S. Produtividade do processamento mecanizado da madeira de Pinus nos sistemas full tree e cut to length em diferentes volumes individuais. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba/PR, v. 2. N. Especial, p. 12 -15, 2017.

SEIXAS, F. As inovações da colheita de madeira. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, p. 38 jun./ago. 2010.

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

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO – SFB. **Florestas do Brasil em resumo: 2010**. Brasília: MMA; 2010. Disponível em: <http://www.florestal.gov.br>

SILVA, R. M. F. **Avaliação econômica dos tratores florestais Harvester e forwarder**. 2015. 64 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2015.

SIMÕES, D. **Avaliação econômica de dois sistemas de colheita florestal mecanizada de eucalipto**. 2008. 118 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP, 2008.

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

SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Influência do relevo na produtividade e custos do harvester. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 107-114, 2010.

SOUZA, M.J.H.; RIBEIRO, A.; LEITE, F.P. Balanço hídrico e caracterização climática de Guanhões, Nova Era e Rio Doce. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 13., 2003, Santa Maria. Anais... Santa Maria: UNIFRA, SBA, UFSM, 2003. v 2. p.131-132.

VALVERDE, S. R.; MAFRA, J. W. A.; MIRANDA, M. A.; SOUZA, C. S.; VASCONCELOS, D. C.. **Silvicultura brasileira: oportunidades e desafios da economia verde**. Rio de Janeiro: FBDS, 2012. 40 p.

VIEIRA, G. C.; FREITAS, L. C.; CERQUEIRA, P. H. A.; SILVA, E. F.; BRITO, G. S.; SOUZA, A. M. Custos Operacionais e de Produção na Atividade mecanizada de Corte Florestal. **Nativa**, Sinop, v.4, n. 5, p. 342-346, 2016.

YONEZAWA, J. T. A evolução da colheita mecanizada. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, p. 17, jun./ago. 2010

ANEXO

Formulários específicos para coleta de dados em campo.

Data: / /		Parcela:	
Ciclo/ Elementos	Início	Término	Observações
Ciclo 01			
Deslocamento Vazio			
Carregamento			
Deslocamento Carregado			
Descarregamento			
Ciclo 02			
Deslocamento Vazio			
Carregamento			
Deslocamento Carregado			
Descarregamento			
Ciclo 03			
Deslocamento Vazio			
Carregamento			
Deslocamento Carregado			
Descarregamento			
Ciclo 04			
Deslocamento Vazio			
Carregamento			
Deslocamento Carregado			
Descarregamento			
Ciclo 05			
Deslocamento Vazio			
Carregamento			
Deslocamento Carregado			
Descarregamento			
Ciclo 06			
Deslocamento Vazio			
Carregamento			
Deslocamento Carregado			
Descarregamento			
Ciclo 07			
Deslocamento Vazio			
Carregamento			
Deslocamento Carregado			
Descarregamento			