

AMANDA DO NASCIMENTO NODARI

CURVAS DE PRODUTIVIDADE DE BALDEIO EM ÁREA DE CONDUÇÃO DE REBROTA DE
EUCALYPTUS SP. SOB DOIS MODAIS DO SISTEMA *CUT-TO-LENGTH*

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito para conclusão da disciplina ENGF006 e requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Florestal.

Supervisor do Estágio: Prof. Dr. Ricardo Anselmo Malinovski

CURITIBA

2016

CURVAS DE PRODUTIVIDADE DE BALDEIO EM ÁREA DE CONDUÇÃO DE REBROTA DE *EUCALYPTUS SP.* SOB DOIS MODAIS DO SISTEMA *CUT-TO-LENGTH*

Amanda do Nascimento Nodari¹, Ricardo Anselmo Malinovski²

Resumo

Uma das características que garantem a boa performance do setor florestal no Brasil é o alto nível de tecnologia e planejamento implementado dentro das operações. Na colheita florestal mecanizada existem diversos fatores que podem afetar o rendimento das máquinas, podendo comprometer diretamente a rentabilidade do negócio. Este trabalho objetivou avaliar, em uma área de condução de rebrota de *Eucalyptus sp.*, o impacto da distância média de extração e do tamanho dos tocos no ciclo operacional do *Forwarder*, com consequente impacto no custo unitário da operação, em dois modais do sistema *Cut-to-Length*. No modal onde o corte foi realizado com *Feller Buncher* constatou-se uma diminuição média no tempo do ciclo de 27%, em comparação ao corte realizado com o *Harvester*, sendo que a altura dos tocos impacta em 42% no tempo de deslocamento cheio do *Forwarder*. As curvas de produtividade mostraram uma tendência de redução de 26% na produtividade do baldeio, no modal *Harvester + Forwarder*. Além disso, observou-se uma queda média de 9% na produtividade do *Forwarder* a cada 100 metros adicionais na distância de baldeio para a área de estudo. Um cenário comparativo mostrou que somente a partir de 500 metros de distância de extração se começa a ter impacto positivo no custo unitário da operação, para a área colhida com o *Feller Buncher*. Em uma ocasião extrema de distância de 1000 m este impacto é 82% maior na área colhida com o *Harvester*.

Palavras-chave: Rendimento, Tocos, Colheita Florestal, Custos

Abstract

One of the characteristics that guarantee the good performance of the forestry sector in Brazil is the high level of technology and planning implemented within the operations. In the mechanized forest harvest there are several factors that can affect the performance of the machines, and can directly compromise the profitability of the business. The objective of this study was to evaluate the impact of the average extraction distance and the size of the stumps in the *Forwarder* operating cycle, with a consequent impact on the unit cost of the operation, in two modes of the *Cut-to-Length* system in a regrowth field of *Eucalyptus sp.* In the mode where the cut was performed with *Feller Buncher*, a mean decrease in the cycle time of 27% was observed, compared to the cut with *Harvester*, with the height of the stumps impacting 42% in the full displacement time of the *Forwarder*. The productivity curves showed a trend of 26% reduction in the productivity of the bucket, in the *Harvester + Forwarder* mode. In addition, an average fall of 9% in *Forwarder* productivity was observed every 100 additional meters in the bucket distance for the study area. A comparative scenario showed that only from 500 meters of extraction distance it begins to have a positive impact on the unit cost of the operation, for the area harvested with the *Feller Buncher*. At an extreme occasion of distance of 1000 m this impact is 82% greater in the area harvested with the *Harvester*.

Keywords: Yield, Stumps, Forest Harvesting, Costs

INTRODUÇÃO

A colheita florestal, segundo Arce (2004), representa a operação final de um ciclo de produção florestal, no qual são obtidos os produtos mais valiosos, constituindo um dos fatores que determinam a rentabilidade florestal. Ao longo dos anos, muitos investimentos em tecnologia florestal vêm sendo feitos, principalmente com relação à mecanização, diminuição de custos e impactos ao meio ambiente e na ideia de 100% de aproveitamento da floresta. Malinovski et al. (2006) afirmaram que a produtividade das operações de colheita de madeira é uma das principais variáveis de viabilidade de retirada de madeira dos projetos florestais, sendo, normalmente, inversamente proporcional ao custo por m³ produzido e diretamente influenciada pelas variáveis do terreno, do povoamento e do planejamento feito pelos técnicos e exigidos pelas fontes consumidoras. Os mesmos autores também definiram, entre outras variáveis, que a altura média dos tocos limita o deslocamento das máquinas, causando, consequentemente, a diminuição da produtividade da operação de extração.

Uma cepa ou toco nada mais é que um residual do tronco que fica ligeiramente acima do solo e que se continua abaixo da terra com as raízes da planta (FOELKEL, 2014). As inúmeras peculiaridades do regime de manejo, tipo de intervenção, características do terreno e do povoamento e dos tipos de equipamentos utilizados fazem com que nem sempre seja possível seguir a altura de toco recomendada.

Um dos tipos de intervenção que possui a característica de deixar tocos altos é a condução da rebrota, também conhecida como talhadia. A altura de corte do tronco das árvores condiciona o número das gemas ativas na touça, com possibilidade de brotação. Quanto maior a altura de corte, maior é a probabilidade de sobrevivência da touça. (FERRARI et al, 2004)

O grande atrativo da execução da talhadia é a redução de custos de implantação de uma nova floresta, como o preparo do solo, aquisição de mudas, mão de obra para plantio, adubação, entre outros. Porém, esta técnica pode apresentar algumas desvantagens operacionais. Segundo Malinovski et al. (2006) a altura dos tocos deixados pela atividade de corte pode comprometer a produtividade da operação de extração, pois, o ato de se passar por cima de tocos muito altos com máquinas entre cinco e trinta toneladas, quando carregadas, pode comprometer a vida útil de pneus e esteiras, além de, algumas vezes, obrigar as máquinas a efetuarem manobras desnecessárias, ou até exigirem o trabalho de rebaixamento de tocos, feito por um motosserrista ou algum outro trator de esteiras equipado com lâmina. O grau de intensidade destas desvantagens operacionais dependerá, principalmente, do sistema de colheita utilizado.

No sistema de toras curtas (cut-to-length), apesar de o modal clássico segundo Lopes *et al.* (2015) e Machado *et al.* (2014) ser composto pelas máquinas *Harvester + Forwarder (HV+FW)*, características favoráveis do *Feller Buncher*, comumente utilizado no sistema de árvores inteiras (MACHADO, 2008), como o baixo custo decorrente da alta produtividade (ADEBAYO *et al.*, 2007; FERNANDES *et al.*, 2007) vêm fazendo com que as empresas testem o modal *Feller + Harvester + Forwarder (FE+HV+FW)*.

No caso da colheita realizada em área de rebrota, após os brotos atingirem idade de corte, ficam altamente lignificadas, o que não é interessante tratando-se da produção de celulose. Além disso, atingem dimensões desproporcionais ao restante do fuste, o que dificulta a operação de corte mecanizado com o *Harvester* (cabeçote processador), por exemplo, pois os rolos precisam se posicionar de maneira que o corte seja feito acima desta cepa antiga, vulgarmente conhecida como “sapata”, o que ocasiona tocos extremamente altos.

Outro fator inerente à condução de rebrota é a alta incidência de indivíduos bifurcados. Esta condição também é limitante ao corte com o *Harvester*, uma vez que o cabeçote consegue cortar e processar somente um fuste de cada vez, o que acarreta em tocos ainda maiores e com características ainda mais danosas às máquinas que farão a extração das toras.

O *Feller-Buncher* possui a característica de realizar cortes mais rentes ao solo, sem que se cause danos no material de corte, resultando em tocos mais baixos e favorecendo a atividade de baldeio. Desta forma, segundo estudo realizado pela empresa Veracel (2014), a operação realizada com o *Feller* permite o corte de materiais de maior densidade, além da nivelção do ângulo de ataque ao fuste. A diferença entre os tocos deixados pelo *Harvester* e pelo *Feller Buncher* na área de estudo está retratada na Figura 1.

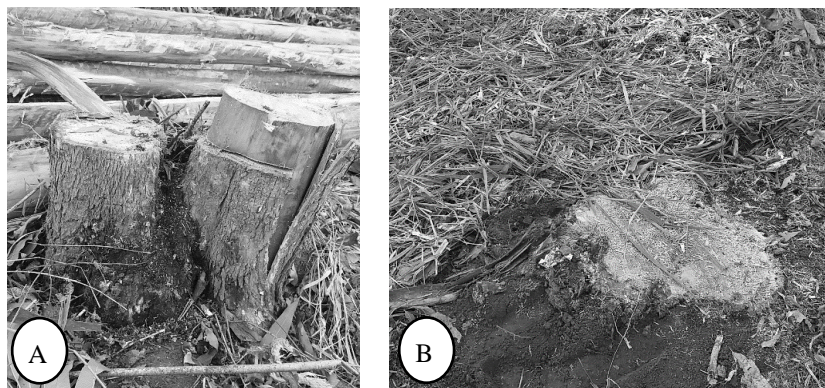


Figura 1. Exemplares de tocos de rebrota proveniente do corte com A) *Harvester* e B) *Feller*

Figure 1. Exemplary stem stump from A) *Harvester* and B) *Feller* cutting

O *Feller-Buncher* possui a característica de realizar cortes mais rentes ao solo (Figura 2), sem que se cause danos no material de corte, resultando em tocos mais baixos e favorecendo a atividade de baldeio. Desta forma, segundo estudo realizado pela empresa Veracel (2014), a operação realizada com o *Feller* permite o corte de materiais de maior densidade, além da nivelção do ângulo de ataque ao fuste.

Compreendendo a colheita mecanizada como um processo contínuo de melhorias nas condições de trabalho e redução do custo final da madeira, sendo necessários estudos que visem o aumento da produtividade e redução dos custos, como por exemplo, avaliações técnicas e econômicas (LEITE, 2014), este estudo objetivou avaliar a produtividade do baldeio dentro dos dois modais do sistema *Cut-to-Length*, em uma área de condução de rebrota de *Eucalyptus*, estabelecendo um comparativo entre os dois modais através de uma curva de produtividade

pela distância média de baldeio (DMB) e avaliando o impacto das atividades no custo unitário final da operação (R\$/m³).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

O estudo foi realizado em uma área de plantio de *Eucalyptus urograndis* destinado à produção de celulose branqueada, na região de Capão Bonito – SP, com as coordenadas 24°0'21" sul de latitude e 28°20'58" oeste de longitude, à uma altitude de 705 metros. O clima é do tipo Cfa - subtropical com verão quente e com estação seca moderada no inverno, de acordo com a classificação de Koeppen, com temperatura média entre 18°C e 22°C, sendo que a ocorrência pluviométrica do mês mais seco ultrapassa 30 mm. A parte sul do município apresenta clima Cfb – clima temperado úmido sem estiagem com temperatura do mês mais quente não atingindo 22°C (SILVA et al., 2015)

Os dados foram coletados em talhões onde houve a condução de rebrota, contemplando os dois modais: i) área onde o corte raso e processamento foram realizados com o *Harvester*, com altura média dos tocos de 18,7 cm e; ii) área onde o corte raso foi realizado com o *Feller-Buncher* para posterior processamento com o *Harvester*, com altura média dos tocos de 8,2 cm. A fazenda possui um Incremento Médio Anual (IMA) de 55 m³/ha/ano diâmetro médio de 6,3 cm. O terreno é considerado suave ondulado a ondulado, com declividades na classe de 5° a 12°.

Estudo de Tempos e Movimentos

Foram realizados vinte estudos de tempos e movimentos (dez para cada modal) em dois operadores, sendo que ambos os operadores trabalharam nos dois modais. A operação foi realizada por um *Forwarder* Tigercat modelo 1075B com caixa de carga de 21 m³. O ciclo operacional da atividade de baldeio foi separado nas etapas descritas na Figura 2:

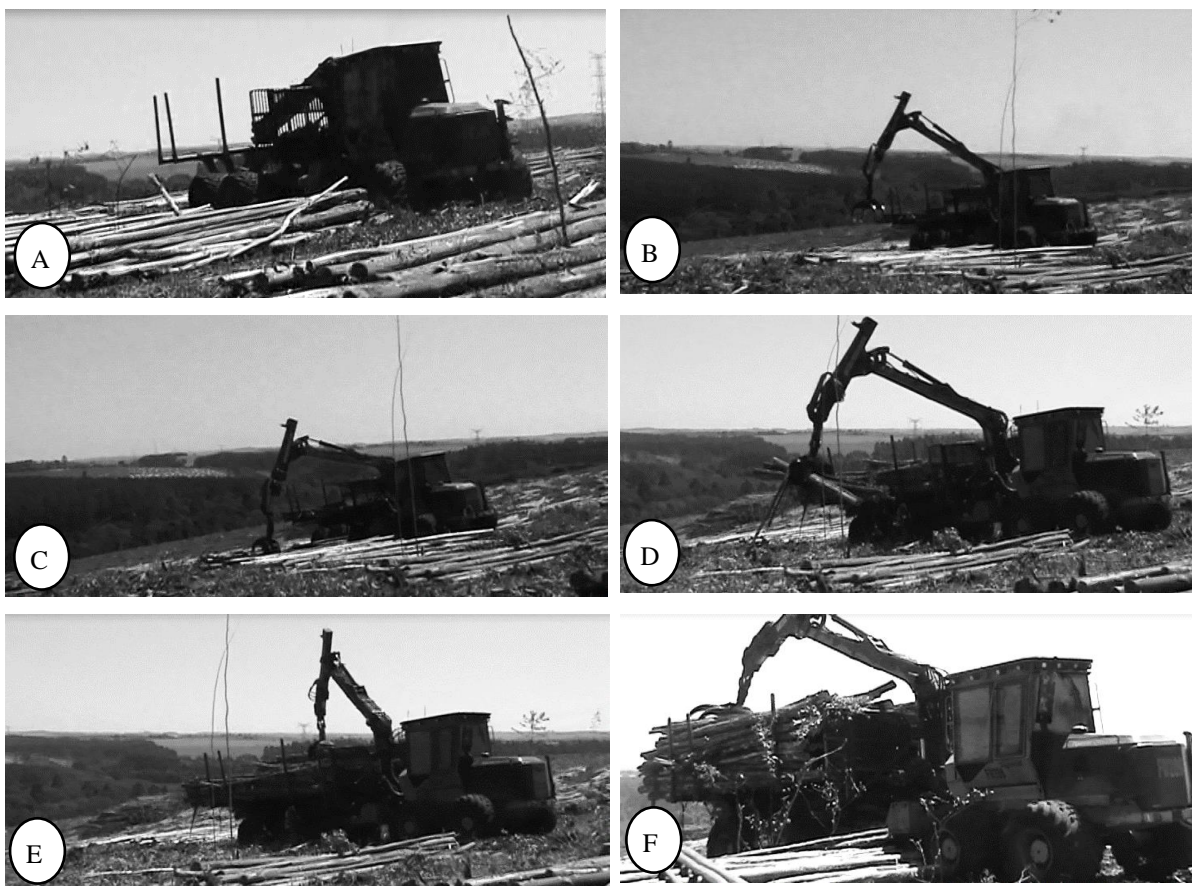


Figura 2: Etapas do ciclo operacional do Forwarder: A) Deslocamento vazio; B) Grua vazia; C) Pegando feixe; D) Grua cheia; E) Soltando feixe; F) Deslocamento cheio

Figure 2: Steps of the Forwarder operating cycle: A) Empty displacement; B) Empty crane; C) Grabbing cluster; D) Full crane; E) Dropping cluster; F) Full displacement

O número ideal de observações foi calculado através da fórmula da intensidade amostral:

$$n \geq \frac{t^2 \times CV^2}{E^2}$$

Onde: n = número mínimo de ciclos necessários; t = valor de t para o nível de probabilidade desejado e (n-1) graus de liberdade; CV = Coeficiente de variação (%); E = Erro admissível (%).

Os tempos foram coletados através de vídeos, no método de tempo contínuo, descrito por Barnes (1977) e as mesmas etapas B, C, D e E - Figura 1 - foram consideradas para o descarregamento. Ainda, fora do ciclo operacional do *Forwarder*, foram coletados os tempos de deslocamento dentre feixes, arrumando feixes, manobra da beira do talhão até a pilha e arrumando pilha.

Descrição do ciclo operacional

O tempo de deslocamento cheio foi considerado desde a entrada da máquina no talhão até o início do carregamento do primeiro feixe, a partir deste momento se inicia a contagem do tempo de grua vazia. O tempo de grua vazia se encerra a partir do momento em que a grua se posiciona e abre para agarrar o feixe de toras, dando início à contagem do tempo da grua pegando o feixe.

Após a grua estar totalmente fechada e iniciar a subida até a caixa de carga se inicia o tempo de grua cheia, que se encerra a partir do momento em que o operador posiciona o feixe na caixa de carga para soltá-lo, dando início à contagem do tempo da grua soltando o feixe. A partir de então se inicia um novo “ciclo” a partir da grua vazia, até o carregamento completo.

É importante observar que nem sempre o operador pega o feixe na posição adequada, seja por erro do próprio operador ou da disposição das toras no feixe, o que torna necessário que o operador arrume o feixe para depositá-lo corretamente na caixa de carga. Esta atividade foi cronometrada como tempo arrumando o feixe.

Além disso, a fim de averiguar um possível impacto na produtividade, como os feixes formados pelo *Feller-Buncher* são maiores do que os formados pelo *Harvester*, foi cronometrado o tempo de deslocamento entre feixes.

Após o *Forwarder* estar completamente carregado, foi cronometrado o tempo de deslocamento cheio, até a beira do talhão, e o tempo de manobra até o posicionamento correto na frente da pilha, se iniciando um novo “ciclo” a partir do tempo de grua vazia, até o descarregamento completo. Durante a atividade de descarregamento também foi cronometrado o tempo que o operador levou para arrumar a pilha, nos casos em que os feixes não ficaram bem posicionados.

Análise técnica

Através dos resultados dos estudos de tempos e movimentos e dos indicadores do *Forwarder* disponibilizados pelo Sistema de Gestão Florestal (SGF) se pôde calcular a disponibilidade mecânica, eficiência operacional e produtividade efetiva em um cenário ideal, para que então fosse feita a simulação da curva de produtividade nas distâncias determinadas.

A disponibilidade mecânica, segundo Simões e Fenner (2010) é definida como o percentual do tempo de trabalho delineado à máquina mecanicamente apta a desenvolver suas operações, o qual consiste em desconsiderar o tempo despendido para efetuar reparos ou manutenção. Este indicador foi calculado através da equação:

$$DM = \frac{HT - HM}{HT} \times 100$$

Onde: DM = Disponibilidade mecânica (%); HT = horas totais de trabalho; HM = Horas de manutenção

A eficiência operacional, considerada como a relação existente entre o tempo de trabalho efetivo em que a máquina se encontra em atividade e o período em que o ciclo é interrompido por qualquer motivo, foi calculada através da equação utilizada por Simões e Fenner (2010):

$$EO = \frac{He}{HT} \times 100$$

Onde: EO = Eficiência operacional (%); He = Horas de trabalho efetivo; HT = Tempo total de trabalho

A produtividade efetiva foi determinada através da razão da produção total nos talhões avaliados pelo total de horas efetivamente trabalhadas:

$$PE = \frac{Vp}{Ht}$$

Onde: PE = Produtividade Efetiva (m³/h); Vp = Volume Produzido (m³); Ht = Horas Trabalhadas (h)

Curva de Produtividade e Custo Unitário

Com o objetivo de criar uma curva de produtividade de baldeio para cada modal, foram fixadas distâncias de extração de 50, 100, 200, 300 e 400 metros. A curva de produtividade do cenário ideal foi calculada baseada em dados do SGF e a curva de produtividade dos modais com base nos resultados dos estudos de tempo e movimento.

Fixando-se um valor “meta” de produção (54.130 m³/mês), DM (87%), EO (77%) e produtividade (56 m³/h), se calculou quantas horas trabalhadas a mais seriam necessárias para cada distância de baldeio, considerando um intervalo de horímetro/hora trabalhada de 10%. Desta forma, foi possível chegar no desembolso adicional, devido ao aumento de horas trabalhadas e redução de produtividade, que dividido pela meta de produção resulta no impacto no custo unitário adicional (R\$/m³) da operação.

RESULTADOS

Para os modais HV+FW e FE+HV+FW foi encontrada uma intensidade amostral (n), respectivamente, de 9,7 e 8,9, significando que as 20 amostras (10 para cada modal) se mostraram suficientes para o estudo. A Figura 4 retrata a diferença de tempo de ciclo operacional do baldeio, para as distâncias fixadas nos estudos de tempo, em ambos os modais.

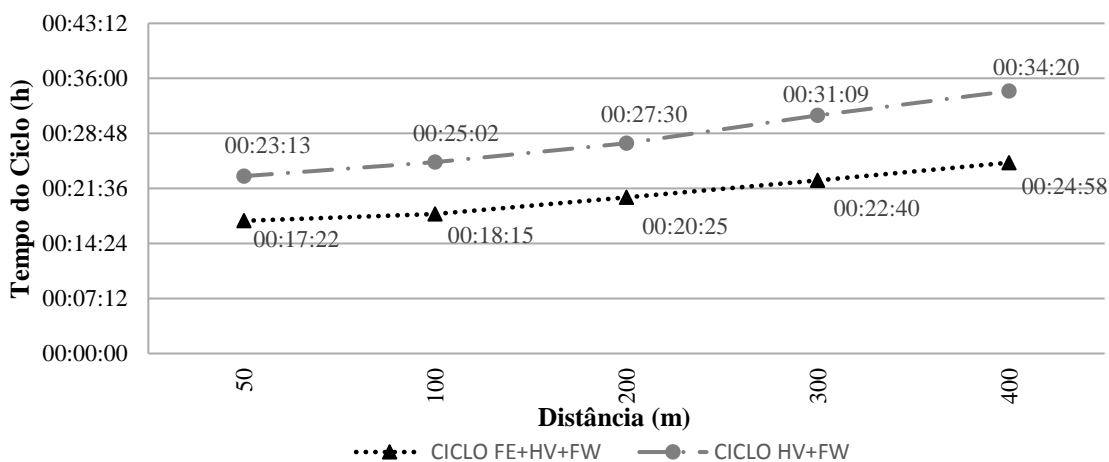


Figura 3: Tempo do ciclo operacional do FW em ambos os modais

Figura 3: Operational cycle time of the FW in both modes

Foram tomados estudos de tempo e movimento para os mesmos dois operadores, nos dois modais, sendo que no modal HV+FW a área apresentava tocos com altura média de 18,8 cm e, no modal FE+HV+FW, a área possuía tocos de altura média de 8,2 cm. Como pode ser observado, o tempo do ciclo operacional de baldeio no modal FE+HV+FW tende a ser 27% menor, quando comparado ao modal HV+FW para as condições propostas.

Na área colhida com o *Harvester*, as atividades de carregamento e descarregamento da caixa de carga do *Forwarder* tiveram uma média de 13:26 min e 06:59 min, respectivamente. Todavia, na área onde o abate foi realizado com o *Feller-Buncher*, as mesmas atividades apresentaram um tempo médio de 09:04 min para o carregamento e 05:22 min para o descarregamento.

Se considerarmos como a hipótese da nulidade (H_0) a não existência de diferença estatística entre os resultados, e como H_1 a existência de diferença significativa, após a aplicação de uma Análise de Variância de Fator Único (ANOVA), com um alfa de 0,05, obteve-se um valor $F_{\text{calc}}=9,337 > F_{\text{crit}}=5,318$. Tal fato leva à rejeição de H_0 , ou seja, existe diferença significativa entre o conjunto de dados, mostrando estatisticamente a influência das variáveis estudadas (distância média de extração e tamanho dos tocos) sobre o ciclo operacional do Forwarder.

A Tabela 2 traz a redução do tempo, em porcentagem, das atividades do ciclo operacional do *Forwarder* realizadas no modal FE+HV+FW, quando comparado ao modal HV+FW.

Tabela 2: Impacto na redução do tempo nas etapas do ciclo operacional do baldeio no modal FE+HV+FW

Table 2: Time reduction impact in the stages of skidding operational cycle in the FE+HV+FW mode

Atividade	Redução
C - GRUA CHEIA	52%
C - GRUA VAZIA	37%
C - PEGANDO FEIXE	42%
C - SOLTANDO FEIXE	13%
D - GRUA CHEIA	45%
D - GRUA VAZIA	59%
D - PEGANDO FEIXE	28%
D - SOLTANDO FEIXE	23%

Legenda: C – atividade que compõe o carregamento; D – atividade que compõe o descarregamento

Não somente pelo ciclo total ter apresentado duração menor na área colhida com o *Feller*, mas também por características intrínsecas da operação, a redução de tempo nas atividades se torna expressiva. O fato de o *Feller* produzir feixes maiores resulta em menos madeira em contato com o solo, o que aumenta a qualidade da operação, visto que não há desperdício de tempo arrumando os feixes para retirada de material vegetal e solo que possa ficar preso às toras e à grua. Ainda, a redução de tempo de grua vazia também pode ser atribuída ao menor tempo de deslocamento entre feixes, de forma que, por conta dos feixes maiores, o *Forwarder* precisa se deslocar menos para encher a caixa de carga.

Mais especificamente, o tempo de deslocamento entre feixes foi 60% menor no modal FE+HV+FW. Não apenas o desprendimento de tempo nesta atividade dentro do ciclo foi menor, como também o número de vezes em que o *Forwarder* precisa se deslocar até o feixe seguinte – uma média de 3 vezes, contra 9 vezes no sistema HV+FW. Ainda sobre as atividades fora do ciclo operacional, o tempo empregado para “arrumar feixes” e “arrumar pilha” teve uma redução, respectivamente, de 47% e 69% no modal FE+HV+FW, quando comparado ao modal HV+FW.

O tempo de deslocamento vazio do *Forwarder*, em comparação com a área colhida com o *Harvester*, apresentou uma queda média de 15% na área colhida com o *Feller-Buncher*. Contudo, a grande diferença no rendimento da atividade de baldeio no modal FE+HV+FW está no tempo de deslocamento cheio (ou carregado), que apresentou uma queda média de 41% e sua velocidade média reduziu de 4,8 km/h para 2,8 km/h.

As curvas de produtividade para o baldeio, em ambos os modais, podem ser observadas na Figura 4.

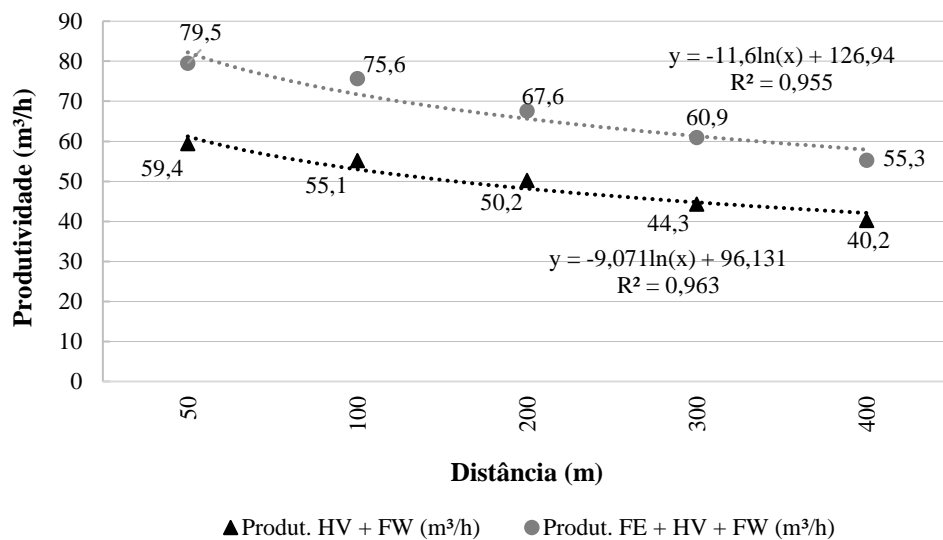


Figura 4: Curva de produtividade de baldeio para os modais HV+FW and FE+HV+FW

Figure 4: Productivity curve of Forwarder operation for the HV+FW and FE+HV+FW modes

É importante notar que, essencialmente, a inclinação da curva retrata a influência da distância na operação, do mesmo modo que a diferença entre as curvas retrata a influência da altura dos tocos. Tal fato é melhor evidenciado no ponto em que, na área colhida com o *Feller*, a uma distância de extração de 400 m, o *Forwarder* consegue alcançar uma produtividade que só alcançaria a uma distância de 100 metros na área colhida com o *Harvester*.

Buscando uma produção de 54.130 m³ por mês, a partir das metas de horas trabalhadas (16 ht/máquina/dia) e produtividade (56 m³/h), foi criado um simulador de desembolso adicional baseado nas curvas de produtividade de baldeio para os dois modais. O impacto no custo unitário (R\$/m³) da operação de baldeio para distâncias médias de extração de 100m a 1000m está representado na Figura 7.

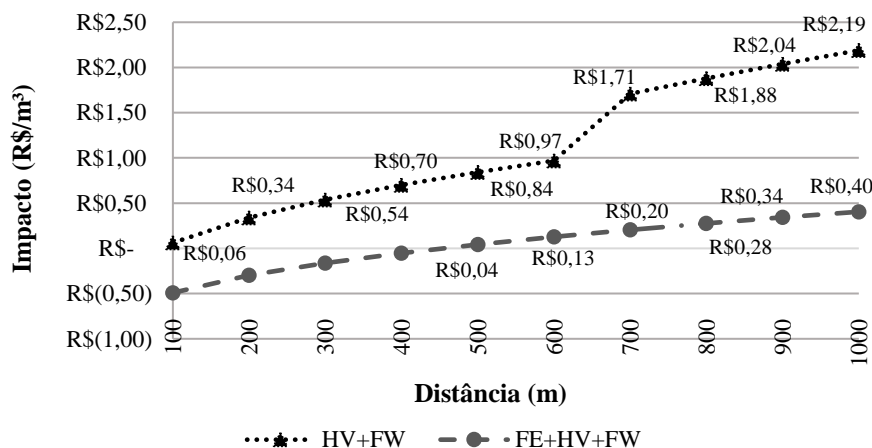


Figura 5: Impacto da distância média de baldeio no custo unitário da operação

Figure 5: Average skidding distance impact on the unit cost of operation

É importante salientar que para a operação no modal FE+HV+FW a distância só passa a trazer impacto positivo no custo unitário a partir de 500 m. Isto porque, para distâncias menores, o *Forwarder* consegue atender as demandas de produtividade (m³/h) e horas trabalhadas (h) necessárias.

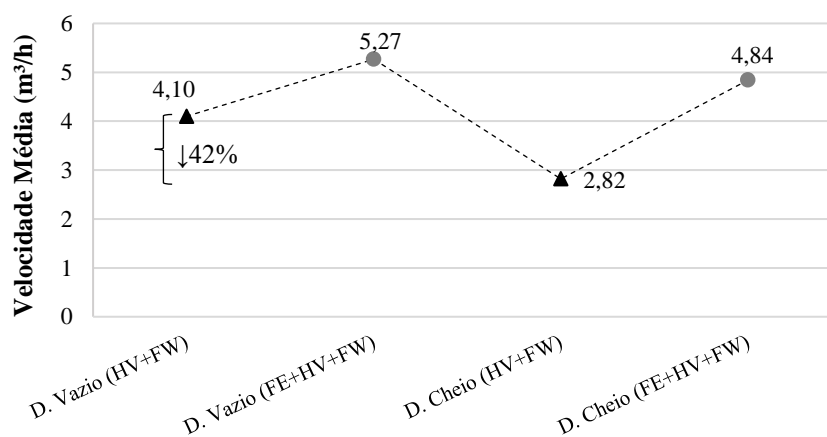
O salto no impacto (R\$/m³) da distância de 600 m para 700 m, no modal HV+FW, se dá por conta de, a partir de 700 m, ser necessária uma máquina adicional para suprir a necessidade de produção e a queda em produtividade decorrente não só do aumento da distância, mas também da alta incidência de tocos altos. Desta

forma, no cálculo do desembolso adicional entra não somente o desembolso com combustível e manutenção, mas também com salários e benefícios de operação. Fato este que não ocorre para o modal FE+HV+FW que, a uma distância extrema de 1 km para extração da madeira, apresenta um impacto no custo unitário 82% menor do que no modal HV+FW.

DISCUSSÃO

É evidente que a distância apresentou grande influência sobre o tempo de deslocamento e, conseqüentemente, à produtividade. Tal conclusão também foi alcançada por Oliveira *et al.* (2009), Minette *et al.* (2004) e por Castro *et al.* (2014). Minette *et al.* (2004) e Oliveira *et al.* (2009) também encontraram um menor tempo de carregamento para casos em que os feixes são formados por maior número de toras, como é o caso da operação feita com o *Feller Buncher*. A influência deste fator foi comentada por Malinovski *et al.* (2006), alegando que a diminuição da necessidade de deslocamento para complementação da carga provoca um maior rendimento da operação.

A queda de 42% da velocidade média no deslocamento cheio, no modal HV+FW comparado ao FE+HV+FW, retrata mais uma vez a alta influência da altura de toco na qualidade operacional do baldeio (Figura 6), uma vez que o excesso de carga aliado à incidência dos tocos pode provocar grandes danos no material rodante e chassis, mesmo com operadores no nível máximo da curva de aprendizado. Jacovine (2005), estudando 5 subsistemas de colheita, também constatou que a maior porcentagem de cepas acima da especificação (58%) se encontrava nas áreas colhidas com o *Harvester*, influenciando diretamente na extração da madeira.



A diminuição de produtividade no modal HV+FW confirma o que foi reiterado por Malinovski *et al.* (2006), que listaram as variáveis altura de toco, tipo de intervenção e distância média de extração como variáveis que diretamente influenciam na produtividade do *Forwarder*.

É esta diminuição demasiada de produtividade, provocada pela influência dos tocos devido ao regime de rebrota e à distância de extração, exigindo um esforço excessivo do material rodante e motor da máquina carregada no talhão, que faz com que o impacto no custo unitário seja expressivamente aumentado na área colhida com o *Harvester*, podendo chegar de 82% a 95% quando comparado à área colhida com o *Feller*. Este desembolso adicional é composto, principalmente, por gastos com manutenção e diesel, o que foi explicado por Simões & Fenner (2010) que, avaliando a extração com *Forwarder*, constatou que reparos, manutenção e combustível compõe 64% do custo operacional.

CONCLUSÕES

- Existe diferença estatística entre o conjunto de dados estudado ($F_{\text{calc}}=9,337 > F_{\text{crít}}=5,318$) mostrando a influência das variáveis estudadas sobre a operação de baldeio;
- As curvas de produtividade mostraram as vantagens operacionais da inclusão do *Feller Buncher* no sistema de Toras Curtas para o cenário proposto, apresentando um aumento médio de 36% na produtividade do *Forwarder*;

- O comparativo estabelecido entre os dois modais mostrou a sensibilidade da operação do *Forwarder* ao tamanho dos tocos deixados pela operação de corte, com uma redução de 41% na atividade de deslocamento cheio para o modal HV+FW.
- A projeção de impacto no custo unitário permitiu uma análise crítica da operação, englobando as variáveis de influência e auxiliando na tomada de decisão, mostrando que, em áreas, de rebrota o impacto no custo unitário da operação de baldeio chega a ser 95% maior no modal HV+FW.

REFERÊNCIAS

- ADEBAYO, A.B.; HAN, S.H.; JOHNSON, L. Productivity and cost of cut-to-length and whole-tree harvesting in a mixed-conifer stand. *Forest Products Journal*, v.57, n.6, p.59- 68, 2007.
- ARCE, J. E.; MacDONAGH, P.; FRIEDL, R. A. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. *Árvore*, Viçosa, v. 28, n. 2, p. 383-391, 2004.
- BARNES, R. M. Motion and time study: design and measurement of work. 6.ed. New York: Jonh Willey & Sons, 1968. 799p.
- CASTRO, G. P.; SANCHES, N. S.; MALINOVSKI, R. A. Desempenho operacional do Forwarder em floresta clonal de *Eucalyptus* sp. XVII Seminário de Atualização em Sistemas de Colheita de Madeira e Transporte Florestal. p.96-97. 2014.
- FERNANDES, H.C. et al. Avaliação das características técnica e econômica de um sistema de colheita florestal de árvores inteiras. *Scientia Forestalis*. Piracicaba, v.37, n. 83, p. 225- 232, set./2009.
- FERRARI, M. P.; FERREIRA, C. A.; SILVA, H. D. Condução de plantios de *Eucalyptus* em sistema de talhadia. *EMBRAPA Florestas*, ISSN 1679-2599. Colombo, PR. Dez/2004.
- FOELKEL, C. O problema dos tocos residuais das florestas plantadas de Eucaliptos. *Eucalyptus Newsletter*, n.45, Fev. 2014.
- JACOVINE, L. A. G.; MACHADO, C. C.; SOUZA, A. P.; LEITE, H. G.; MINETTI, L. J. Avaliação da qualidade operacional em cinco subsistemas de colheita florestal. R. *Árvore*, vol.29, no.3, Viçosa-MG, Mai/Jun-2005.
- LEITE, E. S. et al. Desempenho do harvester na colheita de eucalipto em diferentes espaçamentos e declividades. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v.38, n.1, 2014.
- LOPES, E. S.; OLIVEIRA, D.; RODRIGUES, C. K.; DRINK, C. H. Compactação de um solo submetido ao tráfego do Harvester e do Forwarder na Colheita de Madeira. *Floresta e Ambiente*. 22(2):223-230. 2015.
- MACHADO, C. C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, R. S.; CASTRO, G. P. O setor florestal brasileiro e a colheita florestal. In: MACHADO, C. C (Editor.). *Colheita Florestal*. 3ed. Viçosa-MG: UFV, 2014. P. 15-45.
- MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R.; YAMAJI, F. M. 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, PR, v. 36, n. 2, mai./ago. 2006.
- 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 de florestas de Eucalipto. R. *Árvore*, Viçosa-MG, v.28, n.1, p.91-97, 2004.
- OLIVEIRA, D.; LOPES, E.S.; FIEDLER, N.C. Avaliação técnica e econômica do Forwarder em extração de toras de pinus. *Scientia forestalis*. Piracicaba, v.37, n.84, p.525- 533, 2009.
- SILVA, R. J. N.; GALVÃO, A. V. O.; SILVA, R. J. O zoneamento agroecológico como ferramenta de análise da paisagem: o caso do município de Capão Bonito – São Paulo. *SOUTH AMERICAN Journal of Basic Education. Technical and Technological*. ISSN: 2446-4821. Vol.2, N.2, P.5-14. 2015
- SIMÕES, D.; FENNER, P. T. Avaliação técnica e econômica do Forwarder na extração de madeira em povoamento de Eucalipto de primeiro corte. *FLORESTA*, Curitiba, PR, v. 40, n. 4, p. 711-720, out./dez. 2010.
- VERACEL. Mudança no Processo de Colheita Florestal com Interação na Silvicultura. 3º Encontro Brasileiro de Silvicultura. p.47-57. 2014