



ANÁLISE OPERACIONAL DA EXTRAÇÃO FLORESTAL COM CABOS AÉREOS EM FLORESTA DE EUCALIPTO

Elizabeth Neire da Silva Oliveira de PAULA¹, Leonardo Cassani LACERDA², Nilton César FIEDLER², Flávio Cipriano de Assis do CARMO², Filipe Akira Queryno KUBOYAMA², Telma Machado de Oliveira PELUZIO²

¹AGROFLOR – Engenharia e Meio Ambiente, Viçosa, Minas Gerais, Brasil.

²Departamento de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, Espírito Santo, Brasil.

*E-mail: fiedler@pq.cnpq.br

Recebido em julho/2014; Aceito em outubro/2014.

RESUMO: Esta pesquisa objetivou realizar uma avaliação técnica de um sistema de cabos aéreos, utilizado na extração de madeira de eucalipto em região montanhosa. Os dados da pesquisa foram coletados no Vale do Rio Doce no Leste do Estado de Minas Gerais. A análise operacional do cabo aéreo relacionou um estudo de tempos e movimentos, onde a operação de extração foi subdividida nas seguintes fases: descida do cabo principal, engate, arraste, posicionamento das árvores na estrada, desengate, empilhamento das árvores, deslocamento do trator e interrupções. Para análise dos dados utilizou a Análise de Variância e o teste de Tukey ao nível de 5% de significância, seguido de uma regressão linear simples. Os resultados demonstraram que a atividade que consumiu o maior tempo do ciclo operacional foi a montagem do cabo principal nas árvores, com 35,8% do tempo total. O menor tempo gasto foi relativo às pausas dentro do talhão com cerca de 4% do tempo total da operação. A produtividade média do cabo aéreo variou de 10,2 à 115,3m³cc.he⁻¹. Pela análise de regressão, a produtividade do cabo aéreo na extração de madeira em região montanhosa foi influenciada pelo volume do feixe de madeira, tempo do ciclo operacional e distância de extração.

Palavras-chave: Colheita florestal; Mecanização Florestal; Rendimento Operacional.

OPERATIONAL ANALYSIS OF EXTRACTION WITH CABLES AIR IN EUCALYPTUS FOREST

ABSTRACT: This work aimed to make a technical assessment of an overhead wires system used in the eucalyptus wood extraction on mountainous region. The survey data were collected in Vale do Rio Doce, eastern of Minas Gerais state. The operational analysis of cable related with study of time and motion, where the extraction operation was divided into phases as: lowering the main cable, hitch, drag, placing of roadside trees, trip, stacking trees, displacement of the tractor and interruptions. Data analysis used was the variance analysis and Tukey test at 5% significance level, followed by a simple linear regression. The results demonstrated that the partial activity consumed the greater of the operational cycle time was passing the main cable in the trees, with 35.8% of the total time, unlike the less time spent were breaks in the field with about 4% of total operational time, having average productivity of cable variations from 10.2 to 115.3cc.m³.h⁻¹, being totally linked to the variation distance extraction. Regression analysis it is observed that the productivity of cable logging in the mountainous region was influenced by the volume of wood beam, the operational cycle time and distance extraction.

Keywords: Forest harvesting; aerial cables; operating income.

1. INTRODUÇÃO

A importância do setor florestal para a sociedade brasileira em termos econômicos, sociais e ambientais pode ser mensurada pela avaliação de seus principais indicadores: a área de florestas plantadas, o valor bruto da produção, a geração de impostos, o valor das exportações, empregos gerados e mantidos pelo setor, e os investimentos na área de responsabilidade social e ambiental realizados pelas empresas do ramo florestal.

Em 2013, as áreas plantadas com eucalipto, pinus e demais espécies no Brasil atingiram cerca de 7,2 milhões de hectares. Destas, destacam-se 37% destinadas ao

abastecimento da indústria de celulose e papel; 31% são plantios independentes e 16% para a indústria de siderurgia e carvão. No ano de 2013, o setor florestal respondeu por aproximadamente 5 milhões de empregos diretos e indiretos, 6% do PIB industrial e 3% das exportações do País (IBA, 2014). A colheita florestal é caracterizada por constituir uma das atividades mais onerosas do setor, chegando a representar 50% ou mais dos custos totais da madeira e sua execução pode ser diretamente influenciada por diversos outros fatores (MACHADO, 1989; LOPES, 2001). De acordo com Arce et al. (2004), o retorno esperado ao final de um ciclo de

produção florestal, através da colheita da madeira, será um fator importante para se determinar a rentabilidade do empreendimento.

A extração de madeira em regiões montanhosas sempre foi um grande desafio para as empresas do setor florestal, exigindo planejamento, bem como o desenvolvimento de máquinas e equipamentos específicos para essas condições (PENNA, 2009). Em áreas acidentadas, as condições topográficas desfavoráveis exigem um nível detalhado de planejamento, bem como o desenvolvimento de equipamentos específicos para a colheita florestal. O sistema de cabos aéreos pode ser aplicado em extração desde áreas levemente onduladas, de declividade suave, até locais com inclinação extrema (LEITE, 1992; STUDIER; BINKLEY, 1974).

Por outro lado, Simões et al. (2010) afirmam que a oferta de equipamentos é bastante restrita para a realização da extração de madeira em regiões montanhosas. Para os autores o sistema de cabos aéreos se destaca como uma opção técnica e economicamente viável, em função do baixo investimento, permitindo a extração de madeira em condições adversas, onde não se aplicaria a utilização de sistemas convencionais de colheita. Além disso, é importante ressaltar a vantagem ambiental destes equipamentos que desprezam a construção de estradas específicas no interior da floresta, possibilitando maior agilidade e produtividade da extração, bem como a minimização de impactos no meio ambiente.

No Brasil, o sistema de cabos aéreos ainda é pouco utilizado pelas empresas do setor florestal. Segundo Leite et al. (2012), tal sistema pode ser um aliado no combate à erosão em áreas declivosas e otimiza-se o local de depósito de madeira às margens das estradas, além de fornecer boas condições ergonômicas, contribuindo para ganhos de produção. Contudo, com o crescente aumento da demanda por madeira e a conseqüente elevação do valor de mercado desse produto, em algumas áreas de elevada declividade este sistema de extração passa a ser uma alternativa econômica importante para a colheita. Devido à impossibilidade de se usar tratores florestais convencionais para a realização da extração da madeira, o uso de cabos aéreos torna-se tanto do ponto de vista técnico e econômico quanto ambiental uma alternativa altamente eficaz. Dessa forma, objetivou-se realizar uma análise operacional da extração de eucalipto com uso de um sistema de cabos aéreos em áreas acidentadas no leste do estado de Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Características das áreas de estudo

A pesquisa foi realizada na região do Vale do Rio Doce, localizado no leste do estado de Minas Gerais. A descrição da área de estudo está representada na Tabela 1.

2.2. Sistema de Colheita de Madeira Utilizado

O sistema de colheita de madeira utilizado foi o de árvores inteiras (*full-tree*), no qual o sistema de abate foi realizado de forma semimecanizada e as operações de extração e processamento da madeira na margem da estrada realizados de forma mecanizada (cabo aéreo e pela máquina processadora *slasher*). As operações de corte e extração foram realizadas por uma equipe de oito

funcionários, a qual era composta por três motos serristas responsáveis pela derrubada das árvores, três ajudantes para realizar o engate dos cabos, um funcionário para realizar o desengate das árvores na margem da estrada e um operador do cabo aéreo responsável pela operação do maquinário.

Tabela 1. Caracterização da área de estudo

Características
Área Abrangida: Região do Vale do Rio Doce, Leste do estado de Minas Gerais
Clima: ClTT Tropical úmido; temperatura média de 22°C; precipitação média anual de 1310 mm; período chuvoso outubro-março; período seco abril-setembro
Relevo: Acidentado com declividade média acima de 27°
Solo: Latossolo amarelo distrófico e vermelho-amarelo distrófico
Característica da espécie de estudo
Espécie: Híbrido das espécies <i>Eucalyptus grandis</i> e <i>Eucalyptus urophylla</i>
Volume médio individual das árvores: 0,16 m ³ .arv ⁻¹
Volume por hectare: 178 m ³ .ha ⁻¹
Fonte: INMET (2013) e dados obtidos pela empresa proprietária da área.

O conjunto de cabo aéreo analisado foi da marca *Koller*, modelo K301-T acoplado a uma escavadeira hidráulica da marca *Caterpillar*, modelo CAT324 com 138hp (Figura 1). O equipamento, caracterizado por uma torre de 8,8 m de altura, quatro cabos de aço para ancoragem com 50m de comprimento e 16 mm de espessura, um cabo de aço de apoio de 400m de comprimento e 18 mm de espessura e um cabo de tração de 500 m de comprimento e 10mm de espessura. O conjunto escavadeira hidráulica e torre era posicionado na estrada superior ao talhão de corte.



Figura 1. Conjunto utilizado na extração de madeira por cabos aéreos, torre de cabos *Koller-K301-T*, acoplado à escavadeira hidráulica *Caterpillar-CAT 324*.

2.3. Coleta de dados

A coleta de dados foi realizada por meio de um estudo de tempos e movimentos proposto por Barnes (1977), caracterizado pelo método de tempos contínuos com uso de cronômetro digital e formulário específico para

registro das informações. Para verificação do número mínimo de amostras dos ciclos analisados (Tabela 2), foi utilizada a metodologia proposta por Conaw (1977).

$$n \geq \frac{t^2 + s^2}{E^2} \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: n = número mínimo de ciclos necessários; t = valor de t , para o nível de probabilidade desejado e $(n-1)$ graus de liberdade; s = desvio padrão da amostra e; E = erro admissível, em porcentagem (5% em relação a média).

Na Tabela 2, estão descritas as atividades realizadas na operação de extração de madeira por cabos aéreos. Para o estudo, a área experimental foi subdividida em quatro parcelas amostrais por classe de distância de extração, em intervalos de 25 metros, de modo a avaliar a influência da distância na produtividade do cabo aéreo (Tabela 3).

Tabela 2. Descrição das atividades realizadas durante o processo de extração por cabos aéreos.

Atividade	Imagem	Descrição da Operação
Deslocamento Vazio (DV)		Deslocamento do carro teleférico a partir da torre acoplada na máquina até a parada do cabo próximo ao local de engate das árvores no interior do talhão.
Engate (EG)		Deslocamento do operador com o cabo até as árvores a serem engatadas. Operação finaliza com a sinalização por rádio para início do arraste do feixe de árvores.
Arraste (AR)		Deslocamento do carro teleférico do interior do talhão até a margem da estrada.
Posicionamento das árvores na estrada (PE)		Organização das árvores na margem da estrada.
Desengate (DE)		Etapa de desprendimento da madeira dos cabos.
Empilhamento das árvores (EA)		Seccionamento das árvores e empilhamento da madeira na margem da estrada.
Deslocamento da máquina (DM)		Deslocamento do trator entre as áreas de baldeio da madeira.
Interrupções (IN)		Todos os tempos em que o equipamento não estava realizando as atividades acima mencionadas.

Tabela 3. Classes de distância de extração de madeira com cabo aéreo.

Classe de distância	Distância de extração(m)
1	0 - 25
2	26 - 50
3	51 - 75
4	>76

2.4 Indicadores de rendimentos

Para realização da análise operacional da extração de madeira por cabo aéreo, foram determinados os seguintes indicadores de rendimentos: produtividade, eficiência operacional e o consumo específico de energia. A produtividade da extração por cabo aéreo foi calculada com base no volume médio por árvore fornecido pelo inventário pré-corte da empresa, sendo seu valor multiplicado pelo número de árvores colhidas, obtendo-se o volume total colhido. A partir do acompanhamento da operação, foram obtidas as horas efetivamente trabalhadas por meio da metodologia de tempos contínuos, na qual a medição dos tempos ocorreu sem detenção do cronômetro, de forma contínua durante toda atividade realizada. Esse tempo foi considerado como número total de horas decrescendo-se as interrupções mecânicas e operacionais. Dessa forma, a produtividade foi calculada utilizando-se a Equação 2. A eficiência operacional é a porcentagem do tempo efetivamente trabalhado em relação ao tempo total programado para o trabalho, sendo determinada pela Equação 3.

$$Pr = \frac{N \cdot V}{he} \quad (\text{Equação 2})$$

$$EO = \left(\frac{he}{he + hp} \right) * 100 \quad (\text{Equação 3})$$

Em que: Pr = Produtividade ($m^3cc \text{ he}^{-1}$); N = número de árvores extraídas; V = volume médio individual das árvores com casca (m^3cc); he = tempo efetivo de trabalho (horas); EO = eficiência operacional (%); he = tempo efetivo de trabalho (horas); hp = tempo de interrupções operacionais e não operacionais (horas).

Os resultados referentes às fases operacionais da extração de madeira foram analisados considerando como um delineamento inteiramente casualizado. Assim, os dados foram processados por meio de uma análise de variância (ANOVA à 95% de probabilidade) por meio do *software R*. Obtendo resultados significativos na análise de variância, realizou-se o teste de média *Tukey* à 95% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram coletados 57 amostras de ciclos operacionais (Tabela 4), que correspondeu a um total de 378 árvores extraídas (volume médio de 60,7 m^3 de madeira). Em média, para cada ciclo operacional, eram extraídas seis árvores. Pode-se observar que a maior parte do total de ciclos analisados (56,1%) ocorreu na terceira classe de declividade (20,1° a 30°), e 14,00% dos ciclos foram analisados em áreas que apresentavam mais de 30° de declividade. Na Figura 2 é apresentada a distribuição percentual dos tempos do ciclo operacional do cabo aéreo. Como pode ser observada na Figura 2, a operação de engate das árvores foi a que consumiu o maior percentual de tempo médio do ciclo operacional, com 35,8% do

tempo total. Em seguida, destacam-se as operações de deslocamento do trator e arraste das árvores (com 17,9e 13,7% do tempo total, respectivamente). Sendo que a atividade de posicionamento das árvores na estrada, foi a que obteve o menor percentual do tempo operacional (1,6% do tempo total).

Tabela 4. Ciclos em função da declividade na área de estudo.

Declividade (°)	Numero de cicloscoletados	(%)
0 - 10	5	8.8
10.1 - 20	12	21.1
20.1 - 30	32	56.1
≥30.1	8	14.00
Total	57	100

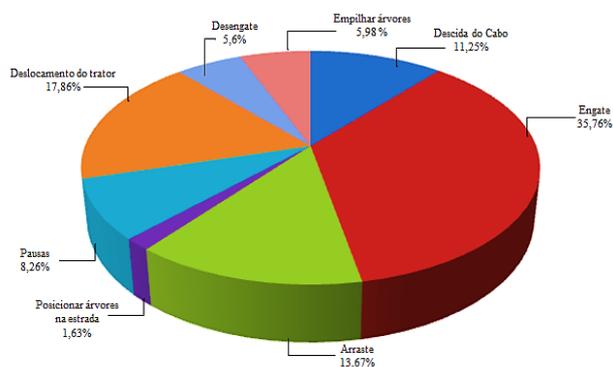


Figura 2. Composição percentual do ciclo operacional do cabo aéreo.

Em pesquisa nas mesmas condições de terreno e maquinário, Oliveira (2009) concluiu que o tempo de engate foi de 41,9%, valor próximo ao encontrado neste estudo. No entanto, Lopes et al. (2011) observaram um tempo percentual de 22,5% do ciclo operacional consumido para o engate das árvores. Sendo que ambos os autores utilizaram as mesmas divisões de elementos do ciclo operacional desta pesquisa e em todas as análises o engate das árvores consumiu os maiores percentuais de tempos. Leite et al. (2012), realizou estudos com arraste de madeira de eucalipto em regiões montanhosas no estado de Minas Gerais e encontrou que 7% do tempo total da extração de madeira foi utilizado para esta mesma atividade, contrastando com que foi encontrado no estudo.

O tempo médio consumido por ciclo operacional do cabo aéreo foi de 9 minutos e 17 segundos (sendo 1 minuto e 32 segundos para a operação de descida do cabo, 4 minutos e 54 segundos para o engate das árvores, 1 minuto e 52 segundos para o arraste das árvores, 13 segundos para posicionamento das árvores na estrada e 46 segundos para o desengate). O elevado percentual de tempo de engate (4 minutos e 54 segundos) foi influenciado principalmente pela dificuldade de deslocamento do trabalhador no interior do talhão, fato este ocasionado pela declividade do terreno e pelos obstáculos como resíduos e vegetação rasteira existentes na área estudada.

Na Figura 3 está demonstrada a produtividade da atividade de extração de madeira em função da declividade. Conforme apresentado na Figura 3, observa-se que à medida que aumenta a declividade da área de baldeio, diminui a produtividade média de extração de madeira por cabo aéreo (redução de até 61% na produtividade entre a primeira classe e a quarta classe).

Esse fato pode ser explicado pela dificuldade de deslocamento dos funcionários responsáveis pelo engate dos cabos nas árvores à medida que aumenta a declividade do terreno, o que resulta no aumento de tempo gasto para realizar esta operação.

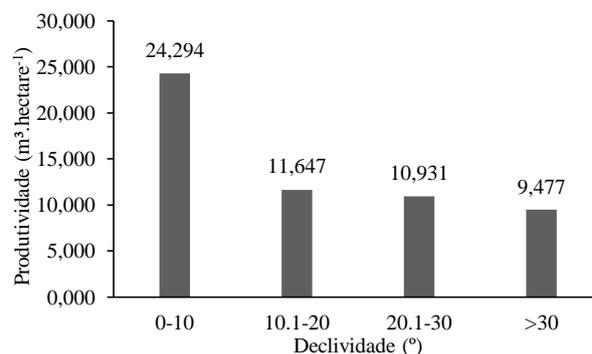


Figura 3. Produtividade média operacional em função da declividade.

A produtividade média do cabo aéreo em função das diferentes classes de distâncias de extração está apresentada na Tabela 5. Como pode ser observado, a medida que aumenta a distância média de extração, diminui a produtividade da extração de madeira. Isto pode ser explicado pelo fato de aumentar os tempos operacionais de deslocamento vazio do carrinho de arraste e de arraste da madeira. A maior produtividade foi obtida na parcela 1 (115,26 m³.he⁻¹) a nível de 95% de probabilidade pelo teste Tukey. Em estudos realizados por Oliveira et al., (2009) analisando um modelo de equipamento semelhante ao utilizado nesta pesquisa, foi encontrado uma produtividade média de 16,6 m³.he⁻¹, para uma distância máxima de extração de 355 metros. Já Simões et al. (2010) encontraram para um cabo aéreo montado sobre trator agrícola semelhante, uma produtividade média de 14,26 m³ he⁻¹, para uma distância máxima de 400 metros.

Tabela 5. Comparação da produtividade média do cabo aéreo nas diferentes classes de distâncias de extração de madeira ao nível de 95% de probabilidade pelo teste Tukey.

Classe de distância	Distância de extração(m)	Produtividade (m³.he ⁻¹)	Eficiência operacional (%)
1	0 - 25	115,3a	93,1
2	26 - 50	77,3b	92,4
3	51 - 75	43,2 bc	92,3
4	>76	10,2 c	89,1

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey, ao nível de 95% de probabilidade.

4. CONCLUSÕES

As condições topográficas e de limpeza do terreno interferiram substancialmente na operação de engate das árvores, elevando o seu tempo de execução da atividade.

A operação de arrumação da madeira consumiu o menor percentual do ciclo operacional do cabo aéreo. O sistema de extração por cabo aéreo apresentou um alto valor de eficiência operacional em ambas as classes de distância analisadas.

A produtividade média do cabo aéreo é diretamente influenciada pela distância média de extração e pela declividade do terreno.

A extração de madeira via cabo aéreo pode proporcionar ganhos tanto ambientais (combate a erosão em áreas com maiores declividades) quanto operacionais e econômicos, dependendo da forma que será planejada a sua execução.

5. REFERÊNCIAS

ARCE, J.E. et al. Geração de padrões ótimos de corte através de algoritmos de traçamento aplicados a fustes individuais. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.2, p.383-391, mar./abr. 2004.

CONAW, P.L. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. 264p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Estações e dados**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 15 de ago. 2014.

LEITE, E. S. et al. Utilização de guindaste na extração de madeira em região montanhosa. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.1, p. 195-201, jan./fev. 2012.

LOPES, E.S. **Aplicação do programa SNAP III (Scheduling and Network Analysis Program) no planejamento da colheita e do transporte florestal**. 2001. 150f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

LOPES, E.S. et al. Avaliação técnica e de custos de um sistema de cabos aéreos na extração de Pinus taeda L. em região montanhosa. **Scientia Florestalis**. Piracicaba, v.39, n.91, p. 387-394, set. 2011.

MACHADO, C.C. **Exploração florestal**. Viçosa: UFV, 1989. 34p.

OLIVEIRA, R.J. **Avaliação técnica e econômica de cabos aéreos na colheita de pinus no município de Cerro Azul-PR**. 2009. 54f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

PENNA, E.S. **Avaliação ergonômica e ambiental de cabos aéreos na colheita de pinus em Cerro Azul, PR**. 2009. 155f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

SIMÕES, D. et al. Custos e rendimentos operacionais da extração de madeira de eucalipto com cabo aéreo. **Cerne**, Lavras, v.16, n.2, p.185-192, abr./jun. 2010.

STUDIER, D.; BINKLEY, V. W. **Cable Logging Systems -DTM/Pacific Northeast Station**. Oregon: Forest Service/USDA, 1974. 210p.