

## Rendimento operacional e viabilidade econômica na colheita de tocos de eucalipto em dois sistemas extração

Operating performance and economic viability in the eucalyptus stump harvest in two alternative extraction systems

Vinicius Casselli<sup>1</sup>, Gabriel Atticciati Prata<sup>2</sup> e Fernando Seixas<sup>3</sup>

### Resumo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho de uma serra tubular para a extração de tocos de eucalipto remanescentes da colheita, em comparação com o método usual com escavadora hidráulica equipada com destocador. Este implemento, montado em uma grua hidráulica, acoplada a um trator agrícola, é constituído de um tubo metálico com borda serrilhada, com diâmetro de 65 cm e altura interna de 70 cm utilizado para realização de corte do sistema radicular de tocos e raízes próximas. Para a comparação entre o desempenho da serra tubular com a escavadora, foram realizadas extrações em parcelas contendo tocos. Foram mensurados o tempo de extração para cada toco e o tempo de deslocamento das máquinas em cada parcela. O tempo de extração da serra foi superior em até de oito vezes o tempo utilizado com a escavadora. A serra tubular, apesar de ser montada sobre a estrutura de um trator agrícola, gastou aproximadamente 34% do tempo operacional em deslocamento e 1 minuto e 20 segundos para extração de um toco. Já a destocadora, gastou em média 16 segundos para extração, com 26% do tempo em deslocamento, contrariando as expectativas do projeto inicial. As análises econômicas mostraram custo operacional de R\$ 107,00/hora para escavadora hidráulica e de R\$ 97,37/hora para a serra tubular, porém, a primeira teve maior produtividade, resultando em menor custo de extração por unidade de toco R\$ 0,64/toco contra R\$ 3,18/toco da serra tubular.

**Palavras-chave:** Colheita Florestal; Serra Tubular; Destocador; Tocos e Raízes de Eucaliptos.

### Abstract

This paper aims to study and evaluate the performance of a tubular saw for the extraction of Eucalyptus stumps remaining after the harvesting, compared to the usual method, with an excavator equipped with a stump remover. This accessory mounted on a hydraulic crane, attached to a farm tractor, consists of a metal tube with a serrated edge, with a diameter of 65 cm. and internal height of 70 cm, used cutting roots and to remove the stump and close roots. To compare the performance of the saw and the excavator, removals were done in plots containing stumps. We measured the removal time and the time to move to each stump. The removal time of the tubular saw was superior in up to eight times compared to the excavators. The tubular saw, despite being mounted on the structure of a farm tractor spent approximately 34% of the operating time in displacement and 1 minute and 20 seconds for extracting a stump. On the other hand, the excavator, spent on average 16 seconds for a stump extraction, with 26% of the time in displacement, contrary to the expectations of the initial project. The economic analyses showed an operating cost of R\$ 107.00/hour for the hydraulic excavator and R\$ 97.37/hour for the tubular saw; but the first one had higher productivity, resulting in a lower extraction cost per stump unit: R\$ 0.64 /stump against R\$ 3.18/stump of the tubular saw.

**Keywords:** Forest harvesting; Tubular saw; Stump removal; *Eucalyptus* stumps and roots

### INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca no cenário mundial por possuir excelente desempenho no setor florestal. As taxas nacionais de crescimento do eucalipto, por exemplo, são bastante superiores às observadas em outros países, devido às condições climáticas favoráveis, às tecnologias aplicadas por empresas e instituições de pesquisa no país e ao melhoramento genético (IBA, 2014).

<sup>1</sup>Mestre em Ciências Florestais. USP – Universidade de São Paulo / ESALQ – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Av. Pádua Dias, 11 – Caixa Postal: 9 - 13418-900 - Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: [vcasselli@hotmail.com](mailto:vcasselli@hotmail.com).

<sup>2</sup>Doutorando em Ciências Florestais. USP – Universidade de São Paulo / ESALQ – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Av. Pádua Dias, 11 – Caixa Postal: 9 - 13418-900 - Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: [gaprata@usp.br](mailto:gaprata@usp.br).

<sup>3</sup>Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais. USP – Universidade de São Paulo / ESALQ – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Av. Pádua Dias, 11 – Caixa Postal: 9 - 13418-900 - Piracicaba, SP, Brasil. E-mail: [fseixas@usp.br](mailto:fseixas@usp.br).

Na maioria dos manejos florestais atuais, árvores maduras são colhidas, cortando o tronco acima do colo da raiz, deixando no solo as ponteiras, galhadas, tocos e raízes (BJORHEDEN, 2006). Estes resíduos de biomassa florestal corresponde a aproximadamente 10 a 12% do volume original da floresta colhida (ABRAF, 2010) e guarda um o potencial energético da biomassa é enorme Lora e Andrade (2004).

Devido à preocupação com as mudanças climáticas causadas pelo aumento nas emissões de gases de efeito estufa, os preços crescentes de combustíveis fósseis e um desejo de melhorar a segurança energética, há um interesse crescente na exploração de fontes alternativas de energia, incluindo a biomassa florestal (BJORHEDEN, 2006, EUFRAD JUNIOR, et al., 2016). O interesse pela extração de tocos tem sido crescente para sua utilização como fonte de energia renovável e fonte combinada de calor e eletricidade (COUTO, 2000).

Os equipamentos atualmente utilizados para o rebaixamento de tocos, como frezadoras, discos de corte e lâmina K/G, reduzem a altura dos mesmos para o nível do solo, facilitando o tráfego de máquinas, porém esta prática não elimina a porção do toco e raízes que ficam abaixo do nível do solo. A remoção dos tocos é realizada com máquinas equipadas com destocadores, implemento geralmente montado em escavadoras ou tratores sobre esteiras.

Os métodos de extração dos tocos ainda estão sendo estudados, mas até o presente a prática mais utilizada é a realizada com escavadoras sobre esteiras equipadas com ferramentas que removem e quebram os tocos, que são deixados no campo por alguns meses, antes de serem transportados. Esta prática é adotada para reduzir a umidade, além de diminuir a quantidade de solo aderido aos mesmos (FOREST RESEARCH, 2009).

A demanda potencial para a colheita de tocos e raízes é crescente mas ainda existe a necessidade de avaliar as consequências deste processo para o manejo florestal sustentável.

Para viabilizar o sistema de cultivo mínimo em áreas com tocos oriundos de colheitas anteriores, faz-se necessário o desenvolvimento de equipamentos capazes de remover as cepas existentes sem proporcionar grandes movimentações no solo. A proposta de desenvolvimento de uma serra tubular para ser montada em tratores agrícolas possibilita a extração dos tocos e parte das raízes, causando o menor impacto possível se comparado com máquinas equipadas com destocadores, além de possuir boa mobilidade e baixos custos operacionais.

Após a extração e remoção dos tocos e raízes, os mesmos podem ser processados e peneirados, resultando em biomassa para queima e geração de energia. A comercialização desta biomassa pode gerar receita para o custeio da operação de destoca.

A biomassa de raízes e tocos possui baixa umidade e alto poder calorífico, características favoráveis para a comercialização (BRITO et al., 1983). As análises de poder calorífico são importantes para comparar a biomassa de tocos e raízes com outra biomassa oriunda de outras partes da árvore, como fuste, casca, galhos e ponteiras.

Neste contexto, o presente trabalho teve por objetivo estudar o desempenho operacional e econômico de uma nova técnica de extração de tocos de eucalipto (serra tubular) comparada com a técnica usual (escavadora hidráulica).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de Estudo

O estudo foi realizado na Fazenda São Francisco de Assis, município de Botucatu, Estado de São Paulo, Brasil. A declividade da área é inferior a 3%, com solo tipo Latosso Vermelho (LVd4 rso).

As parcelas foram instaladas em dois talhões, plantados com clones de *Eucalyptus urograndis* (*E. urophylla* x *E. grandis*), no espaçamento 3 x 2 m: o primeiro sendo o talhão número 12, plantado em julho de 2005 com área de 15,53 ha e o segundo o de número 20 com 12,92 ha, de dezembro de 2004. Foram duas parcelas em cada talhão, de três linhas de 36 plantas, totalizando 108 árvores por amostra.

Para avaliar o desempenho das máquinas na extração dos tocos, as parcelas tiveram todos os indivíduos cortados em outubro de 2011.

### Equipamentos

Os equipamentos avaliados foram uma serra tubular, montada em um trator agrícola, e uma escavadora com implemento destocador na operação de extração de tocos. Os equipamentos eram novos, sem uso, e foram montados especificamente para este teste.

## Serra Tubular

A serra tubular é constituída por um cilindro metálico com 65 cm de diâmetro, com uma das extremidades equipada com dentes ou serras resistentes ao desgaste e cobertos com solda, conferindo maior resistência à abrasão causada com o contato com o solo. Possuem função de cortar o solo e sistema radicular. A outra extremidade é parafusada em um cabeçalho que realiza rotação no sentido horário e anti-horário. Este cabeçalho possui uma engrenagem em sua parte interna, que recebe a rotação de uma engrenagem de menor diâmetro, e esta é conectada ao eixo de um motor hidráulico. Este conjunto trabalha com baixa rotação, em torno de 55 r.p.m., mas com alto torque, devido à diferença entre os diâmetros das engrenagens.

Na parte superior da serra tubular foi montado um cilindro hidráulico, que possui função de expulsar os tocos quando extraídos do solo. A serra tubular foi desenvolvida pelo Departamento de Engenharia da Motocana Máquinas e Implementos, havendo a necessidade de várias modificações no protótipo para atender às condições de trabalho.

A serra possui rotação no sentido horário e anti-horário, facilitando a penetração e retirada do solo. Um cilindro é montado entre a ponta da lança da grua hidráulica e a parte superior da serra, cuja função é articular o implemento para junto do trator, facilitando a remoção da serra do solo e auxiliando no rompimento de raízes que não tenham sido cortadas durante a descida da serra.

Raízes pivotantes e com desenvolvimento vertical não são cortadas com a serra, pois a mesma corta apenas as raízes laterais com comprimento superior a 35 cm. do centro do toco. A altura interna da serra é de 70 cm, onde se encontra a base do cilindro que expulsa os tocos. Com as dimensões de 70 cm de altura e 65 cm de diâmetro, temos o volume interno de 0,232 m<sup>3</sup>, que é a quantidade mínima de solo e toco retirados durante a operação, em condições onde o sistema radicular apresenta desenvolvimento normal.



**Figura 1.** Desenho da serra tubular e seus componentes (Fonte: Engenharia Motocana) e foto do equipamento montado.

**Figure 1.** Drawing of the tubular saw and its components (Source: Motocana Engineering) and photo of the mounted equipment.

1) **Motor Hidráulico:** É acionado pelo óleo da bomba hidráulica montada na parte frontal do trator agrícola, junto com o tanque de óleo.

2) **Cilindro Hidráulico:** É utilizado para expulsar os tocos quando estes ficam presos no interior da serra.

3) **Engrenagem do Eixo do Motor:** Esta engrenagem é fixada no eixo do motor e aciona a engrenagem do tubo da serra

4) **Engrenagem da Serra:** É fixada ao tubo da serra e transfere os movimentos do motor para a serra.

5) **Base do Cilindro:** Esta base é a peça que fica em contato com o toco para expulsá-lo da serra.

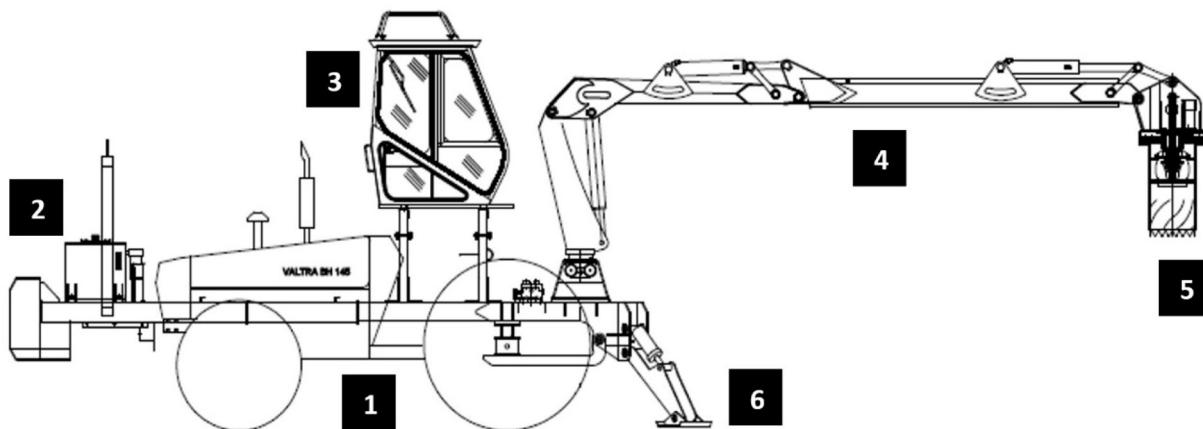
6) **Tubo da Serra:** É o cilindro metálico que se aprofunda no solo.

7) **Dentes da Serra:** São triângulos em aço, soldados na base inferior da serra.

8) **Altura Interna:** O tubo da serra possui altura interna de 70 cm, entre a ponta dos dentes até a base do cilindro que expulsa os tocos do interior deste tubo

9) **Diâmetro Interno:** O tubo possui diâmetro interno de 65 cm.

O trator agrícola BH 145 utilizado na montagem do equipamento foi cedido pela empresa Valtra para que os testes pudessem ser realizados. O trator possui a função de receber a estrutura da grua hidráulica, transportar o conjunto e acionar o sistema hidráulico através de um cardã que liga o motor do trator a bomba hidráulica do conjunto hidráulico. A figura 02 mostra o conjunto completo montado no trator agrícola BH, detalhando seus componentes.



**Figura 2.** Trator agrícola BH 145 equipado com grua hidráulica, sistema hidráulico e serra tubular. Fonte: Engenharia Motocana.

**Figure 2.** Farm Tractor BH 145 equipped with hydraulic crane, hydraulic system and tubular saw. Source: Motocana Engineering.

1) Trator Agrícola Valtra, modelo BH 145

2) Tanque de óleo hidráulico montado sobre estrutura na frente do trator agrícola

3) Cabine de operação elevada, com comandos para acionamento da grua e serra, além dos comandos para operação e movimentação do trator agrícola

4) Grua Hidráulica MKF 6060 para posicionamento da serra

5) Serra Tubular montada na ponta da grua hidráulica

6) Sapatas hidráulicas para estabilizar o trator durante as operações

O carregador florestal é uma grua hidráulica, cuja função é a movimentação de toras de madeira. Ele pode ser montado em tratores agrícolas, é acionado por uma força proveniente de uma unidade hidráulica, composta por: bomba hidráulica, comando de acionamento, atuadores ou cilindros hidráulicos, mangueiras, tubulações e conexões.

O modelo utilizado nesta operação foi o MKF 6060, fabricado pela empresa Motocana Máquinas e Implementos Ltda. Na extremidade da grua hidráulica foi acoplado a serra tubular e um cilindro para articulação, para facilitar a retirada do cilindro da serra do solo após o corte das raízes.

### **Escavadora Hidráulica e Destocador**

A escavadora hidráulica foi utilizada no presente estudo como comparativo com a serra tubular, uma vez que este tipo de equipamento já é utilizado para esta finalidade. O modelo testado foi o SWE 320 LC da fabricante chinesa Sunward. Este equipamento possui peso operacional em torno de 20 toneladas e esteiras em aço. Na ponta do braço da escavadora foi instalada um dente com a ponta bifurcada, para facilitar a penetração no solo e proporcionar melhor contato com os tocos.

O dente utilizado na escavadora tem a função de puxar os tocos para fora do solo, sendo uma peça metálica, com a ponta bifurcada, figura 03.

Esse destocador foi desenvolvido pela empresa Motocana Máquinas e Equipamentos Ltda para que pudesse ser realizado os comparativos com a Serra Tubular. Conforme ilustra a figura 03, o implemento é estreito, para melhor penetração ao solo e seu funcionamento se assemelha a um "martelo retirando pregos".



**Figura 3.** Destocador montado na escavadora hidráulica em operação.

**Figure 3.** Stump remover of the excavator in operation.

### Remoção dos Tocos

#### Remoção com Serra Tubular

Para o funcionamento da serra tubular, o trator agrícola deve permanecer estacionado, com as “sapatas” ou estabilizadores acionados, evitando tombamento do trator. A serra tubular foi projetada para extraer de seis a oito tocos em uma mesma parada.

As rodas do trator trafegaram entre as linhas de plantio, deixando uma linha de tocos à frente do operador, uma linha à direita e uma linha à esquerda. Após a parada do trator, as “sapatas” ou estabilizadores são acionados para que o equipamento opere com segurança. Quando o trator estaciona sobre o local de operação, a grua extrai o toco à sua frente, o toco à sua direita e o toco à sua esquerda. O acionamento da serra só é realizado quando o operador posiciona a serra tubular sobre o toco. O equipamento permanece em rotação até que a serra atinja a profundidade de 70 cm. Neste momento, o operador levanta a grua, acionando o cilindro de articulação da serra, que faz com que a serra tubular seja direcionada para a cabine do operador. Este movimento é fundamental para que as raízes que não foram cortadas com a serra sejam quebradas, facilitando a remoção do toco, além de mover a parede do cilindro contra a área de solo cortada. Este solo fica aderido à camisa do cilindro, e a grua hidráulica não possui força o suficiente para puxar a serra na vertical.

#### Remoção com Escavadora

A escavadora foi posicionada da mesma forma que a serra tubular, trafegando sobre a linha de tocos à sua frente, retirando o toco à sua frente, o toco à sua direita e o toco à sua esquerda. Os tocos retirados eram posicionados sobre as linhas laterais, para que as esteiras não danificassem os tocos extraídos.

### Medição de Tempo

O estudo utilizou a metodologia de “Estudo de Tempos e Movimento”. O tempo de extração dos tocos foi medido com o auxílio de um cronômetro para os dois sistemas de extração, para os cálculos de produtividade e custo operacional.

### Tempo Total de Operação

O tempo total gasto para a extração dos tocos é a soma do tempo de extração e de deslocamento. O tempo total teve início quando o operador posicionou o destocador, no caso da escavadora, e a serra tubular, no caso do trator agrícola, no primeiro toco de suas respectivas parcelas. O término da medição ocorreu quando o último toco de cada parcela foi colocado ao lado de sua respectiva máquina.

### Tempo de Extração

O tempo de extração é o tempo gasto para extrair o toco do solo. Iniciou-se quando o implemento, serra tubular ou o destocador eram posicionados no solo para início da extração e terminou quando o toco foi removido do solo e posicionado na linha ao lado de sua respectiva máquina.

## Tempo de Deslocamento

Considerado como o tempo em que as máquinas estão em funcionamento, posicionamento ou deslocamento, desconsiderando os momentos em que as máquinas estão paradas, por qualquer que seja o motivo. O tempo de deslocamento foi calculado subtraindo o tempo total, desde o início do primeiro toco até o momento onde o último toco foi colocado ao lado, pela somatória do tempo de operação de cada toco, conforme equação (1). O tempo de movimentação não foi calculado para cada toco.

$$\text{Tempo de Deslocamento (DS)} = \text{Tempo de Operação (TO)} - \sum \text{Tempo de Extração} \quad (1)$$

Dentro de cada máquina foi instalado um cronômetro, onde o operador iniciava a contagem do tempo quando iniciada a movimentação da máquina para a extração do primeiro toco, ocorrendo o término da contagem após o posicionamento do último toco sobre a leira.

## Análise Econômica da Operação de Extração de Tocos

Foi estabelecido o custo operacional para a serra tubular e para a escavadora em relação à produtividade de cada equipamento, conhecendo desta forma o custo de extração por toco. Para a análise econômica, comparando os dois sistemas utilizados, foi considerado o valor de mercado dos equipamentos nas mesmas condições de operação do teste realizado, sendo as máquinas utilizadas por 252 horas mensais, em dois turnos diários de operação, de 8 horas cada (das 5 às 13h e das 13h às 21h), em 20 dias por mês, contabilizando eficiência operacional de 78% (252 horas trabalhadas, em 320 horas possíveis).

O tempo total de operação, tempo de extração e tempo de movimentação foram os mesmos obtidos nos testes a campo, assim como o peso dos tocos extraídos. Para o cálculo do custo operacional, os custos foram divididos em: Custos Fixos, Custos Variáveis e Custo de Mão de Obra.

### Custos Fixos

Custos fixos são aqueles que podem ser pré-determinados, acumulados com a passagem do tempo, e não com a proporção de trabalho. Devem ser distribuídos pelas horas de trabalho durante o ano. Inclui: depreciação, juros, taxas, armazenamento e seguro.

### Custos Variáveis

Variam diretamente com a proporção de trabalho. Incluem os custos de combustíveis, lubrificantes, pneus, manutenção de equipamentos e reparos.

### Custos de Mão de Obra

Os custos de mão de obra são os custos associados com a mão de obra empregada e incluem o salário, cestas básicas, transporte e encargos sociais. O custo de mão de obra, além de incluir os salários diretos dos trabalhadores, inclui também o custo indireto das obrigações sociais. Esses custos sociais são expressos em porcentagem do custo direto da mão de obra, conforme fórmula (2):

$$CMD = 12 * Sm (1 + f) / hf \quad (2)$$

Sendo:

CMD = custo de mão de obra por hora efetiva

Sm = salário mensal

f = custos sociais expressos em % do custo de mão de obra (100%)

hf = horas efetivas de trabalho por ano

O valor do salário para os operadores da serra tubular e da escavadora foram estabelecidos em R\$ 1.800,00 por mês. Os encargos trabalhistas e sociais foram estabelecidos em 100% sobre o valor do salário mensal.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Desempenho dos maquinários

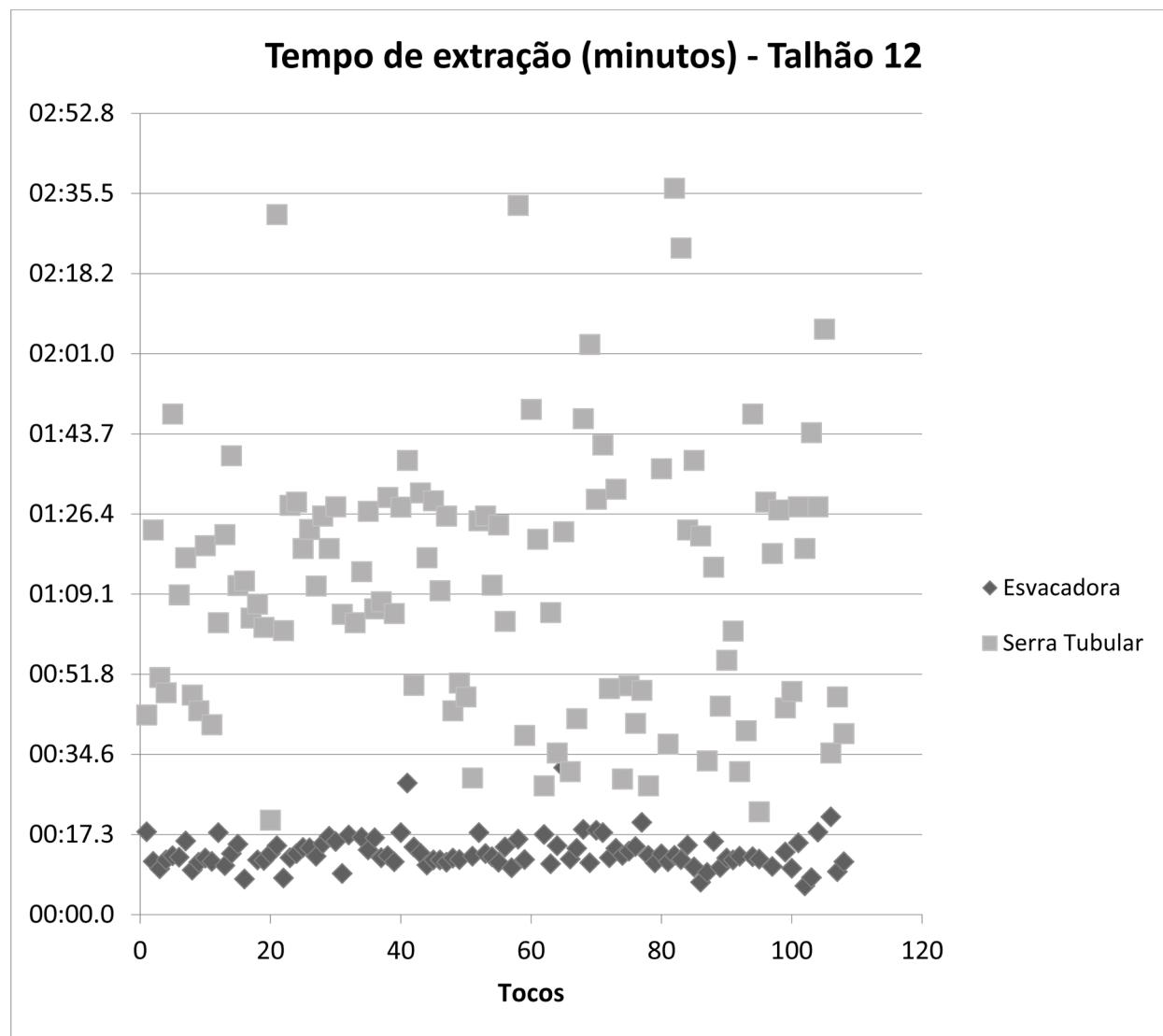
A serra tubular apresentou rendimento inferior comparado à escavadora com o destocador. Todos os tocos foram extraídos das parcelas do talhão 12 e do talhão 20, com os dois sistemas. Pode-se observar na tabela 1 a média de tempo de extração e operação de cada equipamento nos dois talhões, bem como outras estatísticas da operação.

**Tabela 1.** Tempos de extração e operação para a serra tubular e escavadora para os talhões 12 e 20.  
**Table 1.** Removal and operation times for tubular saw and excavator in the stands 12 and 20.

Ítem	TALHÃO 12		TALHÃO 20	
	Escavadora	Serra Tubular	Escavadora	Serra Tubular
Tempo total de Extração	0h 22min 8,6s	2h 04min 56,2s	0h 18min 58,4s	2h 21min 14,9s
Tempo Médio de Extração/Toco	13,41s	1min 11,39s	11,05s	1min 22,28s
Desvio padrão	3,73s	28,6s	3,28s	26,42s
Tempo mínimo de Extração	6,17s	20,37s	3,53s	25,06s
Tempo máximo de Extração	31,65s	2min 36,7s	26,66s	2min 52,0s
Total de Tocos	99	105	103	103
Tempo de Movimentação	0h 07 min 40,8s	1h 04min 04,2s	0h 06min 31,2s	1h 11min 7,8s
Tempo total de Operação	0h 29min 48,8s	3h 09min 06,0s	0h 25min 29,65s	3h 32min 22,6

Enquanto a escavadora gastou de 18 a 22 minutos para extrair todos os tocos da parcela, com aproximadamente 74% do tempo em extração, a serra tubular gastou até 2 horas e vinte minutos, com 66% de eficiência.

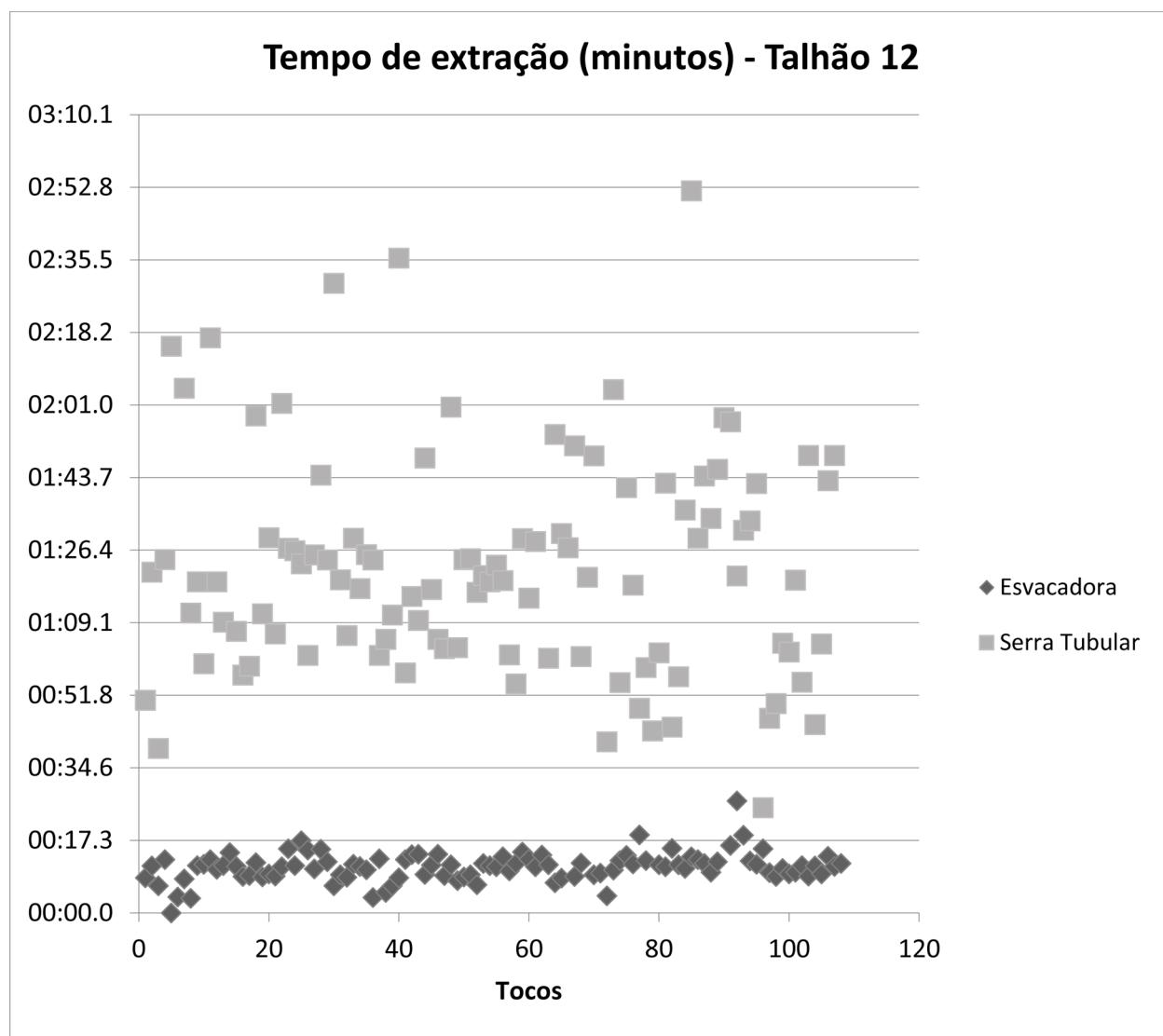
A menor eficiência da serra tubular pode ser explicada pelo fato do sistema hidráulico que aciona a serra tubular ser equipado com bomba hidráulica de fluxo variável, sensível a carga. O operador da serra tubular possui pouco controle sobre o equipamento, uma vez que o desempenho do mesmo está restrito à resistência do solo e à penetração da serra.



**Figura 4.** Variação do tempo de extração para a serra tubular e escavadora no talhão 12.  
**Figure 4.** Removal time variation for the tubular saw and excavator in stand 12.

A operação de destoca é uma operação leve para a escavadora de 20 t de peso operacional, ou seja, o operador pode utilizar mais recursos da máquina caso haja um toco com maior dificuldade para ser extraído. O sistema hidráulico da escavadora está programado para aumentar a rotação do motor e, consequentemente, a rotação da bomba hidráulica quando a máquina necessita de maiores esforços, impedindo que haja perda de rendimento nas operações. Desta forma, o operador da escavadora possui maior controle sobre a operação de extração de tocos com o destocador.

A variação de tempo de extração (figuras 04 e 05) foi maior na serra tubular, onde o desvio padrão observado variou de 26 a 28 segundos em cada talhão. Devido ao fato da serra regular possuir sistema hidráulico, a velocidade de descida, resistência do solo e sistema radicular, assim como a penetração do tubo da serra, são os fatores que contribuiram para isto. No caso da escavadora, a extração era uma operação leve, e o sistema hidráulico da máquina compensava automaticamente quando eram necessários maiores esforços, resultando em um desvio padrão de aproximadamente 3 segundos em cada local.



**Figura 5.** Variação do tempo de extração para a serra tubular e escavadora no talhão 20.  
**Figure 5.** Removal time variation for the tubular saw and excavator in stand 20.

### Análise Econômica

A tabela 2 mostra os custos operacionais da serra tubular, montada em trator agrícola e da escavadora com o destocador. O valor de aquisição do trator agrícola, grua hidráulica e serra tubular ficou muito próximo do valor de aquisição da escavadora com o destocador.

**Tabela 2.** Custo operacional da serra tubular e escavadora com destocador.  
**Table 2.** Operating cost of the tubular saw and excavator with stump remover.

Ítem	Serra Tubular	Escavadeira
Valor de Aquisição: (V) em R\$	385.000,00	406.000,00
Vida Econômica (N) em horas	15.000,00	20.000,00
Valor Residual (R) em R\$	38.500,00	40.600,00
Depreciação Anual (DA) em R\$	277,20	219,24
Depreciação Horária (DH) em R\$	23,10	18,27
Horas Efetivas Trabalhadas por Ano	3.024,00	3.024,00
Juros por Hora (Ju) * taxa anual de 7%	1,62	1,71
Horas Trabalhadas por Dia	16	16
Eficiência Operacional	75%	75%
Dias Trabalhados por Mês	21	21
Meses Trabalhados por Ano	12	12
Seguro por Hora de Trabalho (3% do V)	3,82	4,03
Consumo de Combustível por Hora (em L)	7,15	15,23
Valor do Combustível por Litro	2,00	2,00
Custo de Combustível R\$/hora trabalhada	14,30	30,46
Custo de Lubrificantes R\$/hora trabalhada	2,86	6,09
Custo de Mão de Obra por mês (2 turnos) em R\$	7.200,00	7.200,00
Custo de Mão de Obra R\$/hora trabalhada	28,57	28,57
Custo de Manutenção e Reparos (igual a DH) em R\$	23,10	18,27

\* Tempo e peso de extração obtidos pelos resultados dos testes deste trabalho

A serra tubular apresentou o tempo médio de até oito vezes superior à escavadora e destocador (Tabela 03). A escavadora apresentou custo operacional maior que o da serra tubular, porém com uma quantidade de tocos extraídos por hora muito superior, resultando em um custo de R\$ 0,64/toco extraído contra R\$ 3,18/toco extraído pela serra tubular.

**Tabela 3.** Custo da extração de tocos com a serra tubular e escavadora.  
**Table 3.** Cost of extracting stumps with the tubular saw and excavator.

Ítem	Serra Tubular	Escavadeira
Custo de Produção (R\$/h)	97,37	107,40
Tocos extraídos por hora	30,60	166,80
Custo por toco extraído (R\$/toco)	3,18	0,64
Custo por tonelada de toco extraído (R\$/t)	140,52	21,23

O valor da biomassa produzida a campo, ou seja, no local de extração, possui valor estimado em R\$ 80,00 por tonelada. Esta biomassa ainda necessita ser transportada para o local de consumo. Estimando a população de tocos em 1.600 tocos por hectare, em um plantio com espaçamento em 3 x 2 metros, tem-se aproximadamente 45,14 toneladas quando a operação é realizada com escavadora e 39,30 toneladas quando a operação for realizada com a serra tubular. A quantidade de biomassa acima pode ser estimada quando a operação for realizada em destoca com as mesmas condições estudadas no presente trabalho, em plantios de eucalipto em torno de sete anos e diâmetros e altura da base semelhantes aos estudados. Para as quantidades acima, o faturamento bruto da biomassa a campo, ficaria em torno de R\$ 3.610,00 e R\$ 3.143,00 para as operações realizadas com escavadora e serra tubular respectivamente, podendo estes valores serem utilizados para o custeio da destoca.

## CONCLUSÕES

A utilização da serra tubular montada em trator agrícola para a extração de tocos de eucalipto não obteve o desempenho esperado, pois área de atuação ficou restrita a apenas três tocos em cada parada do trator, devido à instabilidade e risco de tombamento, contrariando as expectativas de realizar a destoca em seis a oito tocos por parada. O trator teve pouca mobilidade, devido à necessidade de suspender e abaixar as sapatas para estabilizar o mesmo antes de iniciar a destoca. O sistema hidráulico montado no trator para o acionamento da serra não foi capaz de realizar a descida e penetrar ao solo sem a necessidade de retroceder para estabelecer a rotação.

Por meio do presente trabalho, foi possível verificar que o método convencional de extração de tocos com escavadora hidráulica e destocador é mais eficiente e de melhor custo benefício quando comparado ao procedimento com serra tubular, além de possibilitar maior retorno financeiro pela venda da biomassa extraída. Desta forma, o melhor equipamento para remoção de tocos foi a escavadora hidráulica.

Após análise dos resultados, visualiza-se possibilidades para novos estudos. A serra pode ser que tenha melhor desempenho se for montada em um equipamento com maior potência e sistema hidráulico de maior vazão e pressão, podendo desta forma trabalhar com motor hidráulico, que realiza o acionamento da serra, de maior capacidade.

A montagem da serra em um equipamento com melhor estabilidade, como uma escavadora hidráulica, pode reduzir o tempo de movimentação, aumentando sua produtividade e reduzindo o custo por toco extraído.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAF - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. Anuário estatístico da ABRAF 2010: ano Base 2009. Brasília: ABRAF, 2010.

BRITO, J. O.; BARRICELLO, L. E. G.; SEIXAS, F. Análise da Produção Energética e de Carvão Vegetal de Espécies de Eucalipto. Circular Técnica IPEF, Piracicaba, n.23, p. 53-56 , 1983.

BJORHEDEN, R. Drivers behind the development of Forest energy in Sweden. *Biomass Bioenergy*, Surrey, v.30, n. 4, p. 289 – 295, 2006.

COUTO, L. ; FONSECA, E.M.B.; MÜLLER, M.D..O estado da arte das plantações de florestas de rápido crescimento para produção de biomassa para energia em Minas Gerais: aspectos técnicos, econômicos sociais e ambientais. Belo Horizonte: CEMIG, 2000. 44 p.

FOREST RESEARCH. *Stump harvesting: interim guidance on site selection and good practice*. Edinburgh: The Research Agency of the Forestry Commission, 2009. 18 p.

IBA - INDUSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. Relatorio anual IBÁ. São Paulo: IBA, 2014. 100 p.

EUFRÁDE JUNIOR, H. J.; MELO, R. X.; SARTORI, M. M. P.; GUERRA, S. P. S.; BALLARIN, A. W. Sustainable use of eucalypt biomass grown on short rotation coppice for bioenergy. *Biomass and Bioenergy*, v. 90, p. 15-21, 2016.

LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V. Geração de energia e gaseificação de biomassa. *Biomassa & Energia*, Viçosa, v. 1, n. 3, p. 311 – 320, 2004.

Recebido em 14/06/2016  
Aceito em 22/08/2017