

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

WILLIAN SCHWEGLER WIESE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DO EQUIPAMENTO *STUMP HARVESTER*

CURITIBA

2015

WILLIAN SCHWEGLER WIESE

ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DO EQUIPAMENTO *STUMP HARVESTER*

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

Orientador: Prof^a. Dr. Ricardo Anselmo Malinovski

CURITIBA

2015

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, saúde e disposição para continuar o trabalho.

Aos meus pais Kleber Pigatto Wiese e Vera Lúcia Schwegler Wiese por todas as lições, carinho e suporte para a realização do trabalho.

Ao meu irmão, Felipe Schwegler Wiese, pelo apoio incondicional, companheirismo e pela amizade sincera.

A todos os demais familiares, avós, tios e primos que sempre incentivaram o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Ao professor Ricardo Anselmo Malinovski, pelos vários anos de excelente orientação, ensinamentos, paciência, e, principalmente, pela amizade.

A todos os professores do Curso de Engenharia Florestal da UFPR e, em especial, aos professores Ricardo Klitzke, Alessandro Ângelo, Júlio Arce, Nelson Nakajima e Franklin Galvão pela amizade e inúmeros conhecimentos transmitidos.

Aos colegas Gustavo Machoski, Wally Klitzke, João Messias e Melrian Schetz pelos trabalhos realizados em equipe, paciência mútua e pela grande amizade durante esse período.

RESUMO

As atividades de colheita florestal comumente geram uma grande quantidade de resíduos em plantios florestais de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp, prejudicando as operações silviculturais. Dentre todos os tipos de resíduos florestais, os tocos constituem um grande dificultador das operações de implantação florestal como subsolagem, fertilização, plantio e manutenção. A redução da qualidade das operações pode levar à uma redução na área de efetivo plantio, reduzindo o número de árvores plantadas por hectare e subutilizando o sítio. Diante disso, buscam-se alternativas para remoção e aproveitamento de resíduos florestais. Quanto a remoção de tocos, uma alternativa atual é o equipamento *stump harvester* que consiste em um implemento específico para a remoção de tocos montado em uma escavadeira hidráulica. Diante disso, o presente trabalho avaliou técnica e economicamente o equipamento *stump harvester* para a reforma e realinhamento de plantios de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* em uma empresa florestal do norte de Santa Catarina. Foram avaliados a produtividade, custos, receitas e indicadores econômicos no intuito de avaliar a viabilidade do investimento no equipamento. Como resultado de produtividade obteve-se uma média de 3,88 e 3,19 tocos/min para o *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*, respectivamente. O custo de remoção foi calculado em 1.521,47 R\$/ha para o *Pinus taeda* e 1.778,72 R\$/ha para o *Eucalyptus dunnii*. Foram estimadas diversas situações de aumento de receitas com a utilização do equipamento. Quando utilizado somente para fins de reforma e realinhamento o uso do equipamento é inviável a uma taxa mínima de atratividade de 10%. Recomenda-se, entretanto, a quantificação e qualificação do material extraído para a produção de biomassa, pois, segundo literatura especializada, existe um grande potencial energético nesse material.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Localização da área de teste de <i>Pinus taeda</i>	24
Figura 2- Aspecto da área de teste de <i>Pinus taeda</i>	25
Figura 3-Localização da área de teste de <i>Eucalyptus dunnii</i>	26
Figura 4- Aspecto da área de teste de <i>Eucalyptus dunnii</i>	26
Figura 5- <i>Stump harvester</i>	27
Figura 6- Implemento <i>stump harvester</i>	28
Figura 7- Procedimento para a determinação do custo da operação.....	30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Custo horário do <i>stump harvester</i>	39
Tabela 2- Custo da remoção de um hectare de <i>Pinus taeda</i>	40
Tabela 3- Custo da remoção de um hectare de <i>Eucalyptus dunnii</i>	41
Tabela 4- Acréscimo de receita promovido pelo realinhamento do plantio de <i>Pinus taeda</i>	41
Tabela 5- Acréscimo de receita promovido pelo realinhamento do plantio de <i>Eucalyptus dunnii</i>	41
Tabela 6- Fluxo de caixa do investimento em plantios de <i>Pinus taeda</i>	42
Tabela 7- fluxo de caixa do investimento em plantios de <i>Eucalyptus dunnii</i>	43
Tabela 8- Indicadores econômicos do projeto	43

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	7
SUMÁRIO	8
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3 REVISÃO DE LITERATURA	13
3.1 PLANTIOS FLORESTAIS NO BRASIL.....	13
3.2 CARACTERIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES SILVICULTURAIS NO BRASIL..	13
3.3 BIOMASSA E RESÍDUOS EM PLANTIOS FLORESTAIS.....	15
3.4 TEORIA DO ESPAÇAMENTO EM PLANTIOS FLORESTAIS	16
3.5 A PRÁTICA DE REMOÇÃO DE TOCOS	16
3.5.1 Técnicas e equipamentos para a remoção.....	18
3.5.2 Implicações positivas da remoção de tocos.....	18
3.5.3 Implicações negativas da remoção de tocos	19
3.5.4 Impacto no desenvolvimento das rotações subsequentes.....	21
3.5.5 Viabilidade econômica da operação	21
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
4.1 MATERIAIS	23
4.1.1 Manejo florestal adotado pela empresa.....	23
4.1.2 Clima e meteorologia nas áreas de teste.....	23
4.1.3 Área de <i>Pinus taeda</i>	24
4.1.4 Área de <i>Eucalyptus dunnii</i>	25
4.1.5 Equipamento testado	27

4.2 MÉTODOS.....	28
4.2.1 Determinação da produtividade	28
4.2.2 Fatores que afetam a produtividade	29
4.2.3 Consumo de combustível	29
4.2.4 Custos.....	29
4.2.5 Estimativa de receitas.....	32
4.2.6 Indicadores econômicos	32
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
5.1 PRODUTIVIDADE	34
5.1.1 Produtividade em <i>Pinus taeda</i>	34
5.1.2 Produtividade em <i>Eucalyptus dunnii</i>	35
5.1.3 Comparação da operação entre <i>Pinus taeda</i> e <i>Eucalyptus dunnii</i>	37
5.2 SÍNTESE DOS FATORES QUE AFETAM A OPERAÇÃO	38
5.3 CONSUMO DE COMBUSTÍVEL	39
5.4 CUSTOS	39
5.5 RECEITAS.....	41
5.6 ANÁLISE ECONÔMICA.....	42
6 CONCLUSÃO	45
7 RECOMENDAÇÕES	46
8 ANÁLISE CRÍTICA DO DESENVOLVIMENTO DO TCC.....	47
9 AVALIAÇÃO DO ORIENTADOR	48
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos vinte anos observou-se um custo crescente com mão-de-obra, aquisição de terras, insumos, capital e tributos no Brasil, onerando as empresas de base florestal. Entretanto, a elevada produtividade das florestas plantadas ainda garante às empresas de base florestal e ao País competitividade frente aos seus concorrentes.

Segundo IBA (2015) em 2014 os incrementos anuais médios dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* foram de 31 e 39 m³/ha/ano, respectivamente, colocando o Brasil em primeiro lugar no ranking mundial de crescimento de espécies desses gêneros. Quando comparados aos dados do ano de 1980, o *Pinus* teve o seu crescimento anual médio aumentado em cerca de 63 % e o *Eucalyptus* em 62%.

Esse aumento foi alcançado, em grande parte, devido aos programas de melhoramento genético desenvolvidos por empresas do setor de papel e celulose. Durante esse período investiu-se muito em técnicas como a seleção de plantas, manipulação de florescimento e hibridação, garantindo o aumento da produção volumétrica das florestas. Aliado a isso, observou-se melhorias nas práticas silviculturais adotadas pelas empresas.

As práticas silviculturais, no entanto, evoluíram de forma menos expressiva em relação ao melhoramento genético. A maior diferença em relação ao passado está na estratégia de preparo de solo que passou do preparo intensivo para o cultivo mínimo. Além do preparo de solo, em algumas situações, desenvolveu-se a mecanização do plantio, diminuindo a necessidade de mão-de-obra e reduzindo custos envolvidos na operação.

Um dos principais dificultadores das operações de silvicultura é a presença de resíduos da colheita no campo. Restos de toras, galhos, folhas e, principalmente, os tocos que podem afetar as operações necessárias para o estabelecimento das rotações subsequentes. Os maiores exemplos disso são a perda de área causada por mal alinhamento e perda de área por pilhas de resíduos.

Atualmente, para a remoção de galhos e restos das copas das árvores, muitas empresas dispõem de estratégias e máquinas para o empilhamento e posterior picagem desse material. Essa operação é comum e, além da diminuição

da quantidade de resíduos no interior do talhão, existe a possibilidade de utilização do material picado como biomassa. Dessa maneira, gera-se renda proveniente do processamento dos resíduos.

Quanto aos tocos, existem menos alternativas de sistemas e máquinas. Além disso, a maioria dos implementos disponíveis visam o rebaixamento do toco e não a remoção em si. Exemplo disso é a utilização de *mulchers*, fresadores, tesouras hidráulicas, rebaixamento com motosserra e utilização de lâmina KG, máquina mais utilizada pelas empresas de base florestal. Operações de rebaixamento são muitas vezes lentas e de qualidade reduzida.

Uma alternativa para a remoção completa dos tocos é a utilização do equipamento *stump harvester*. O equipamento consiste em um robusto implemento específico para a remoção e corte de tocos e raízes acoplado em uma escavadeira hidráulica como máquina base.

O objetivo da utilização desse equipamento é, portanto, a total remoção de tocos, permitindo a reforma de talhões, melhor aproveitamento das áreas de efetivo plantio e aproveitamento do material extraído. Entretanto ainda são necessários estudos verificando a viabilidade técnica e econômica do equipamento para a sua utilização em larga escala em plantios florestais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a viabilidade técnica e econômica da utilização do equipamento *stump harvester* para a remoção de tocos em plantios florestais de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*.

2.2 Objetivos específicos

- a) Determinar a produtividade média do *stump harvester* em plantios de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*;
- b) Identificar fatores que influenciam a produtividade;
- c) Caracterizar os custos inerentes à operação de remoção de tocos;
- d) Simular as receitas provenientes da utilização do equipamento; e
- e) Determinar a viabilidade econômica da operação.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Plantios Florestais No Brasil

No Brasil, a área coberta por florestas plantadas é de 7,7 milhões de hectares, correspondendo a 0,9 % do total território nacional. Dados do Serviço Florestal Brasileiro (2014) apontam que os principais gêneros plantados no Brasil são *Pinus* e *Eucalyptus*. O órgão também aponta a existência de plantios comerciais em menor escala de outras espécies, como Acácia, Seringueira, Teca, Paricá, Araucária e Álamo.

O Brasil apresenta, de modo geral, possui condições edafoclimáticas (solo e clima) bastante favoráveis para a produção florestal. Além disso, o país dispõe de tecnologia avançada para a exploração das florestas plantadas e para a transformação industrial da madeira e está situado entre os 10 maiores países em plantios florestais do mundo (IBA, 2015).

Das florestas plantadas provém cerca de 90% de toda a madeira destinada a produção de variados produtos como papel, celulose, painéis de madeira reconstituída, pisos laminados, painéis compensados, móveis, demais produtos sólidos de madeira, carvão vegetal e outras biomassas para fins energéticos. Em 2014, 610.000 brasileiros trabalharam diretamente em florestas plantadas, gerando uma renda de aproximadamente R\$ 10,60 bilhões (IBA, 2015).

3.2 Caracterização das operações silviculturais no Brasil

O dicionário Michaelis define silvicultura como:

“Ciência que trata do cultivo, reprodução e desenvolvimento de árvores florestais”, ou simplesmente: *“Cultura de árvores florestais”.*

As operações silviculturais, por sua vez, são as intervenções humanas planejadas e realizadas para implantar e garantir o bom estabelecimento das florestas de acordo com o seu objetivo final. De modo geral, entende-se por

operações silviculturais o preparo de solo, fertilização, plantio, limpeza, poda e a proteção florestal (FAO, 2015).

Historicamente tais operações foram altamente dependentes de mão de obra braçal e eram realizadas pela população rural empregada no setor florestal. Nos últimos anos houve uma melhoria significativa no grau de mecanização, em especial nas operações de preparo de solo e aplicação de herbicida, mas ainda hoje existe uma grande demanda por mão de obra braçal (GONÇALVES et al., 2008).

Segundo IBGE (2015), em 1980 a população rural correspondia a 32% da população total do Brasil e, atualmente, corresponde a cerca de 15%. A escassez de mão-de-obra, outrora abundante, fez com que os custos se elevassem, tornando as operações mais caras. Aliado a isso, encargos sociais e burocracia fazem com que cerca de 35% do valor do investimento em plantio florestal esteja associado a mão de obra (BATISTUZZO, 2013).

Em conjunto com a alta carga tributária, deficiência de infraestrutura e alto custo da energia elétrica a escassez de mão-de obra onera as empresas de base florestal e reduz a competitividade e atratividade do País para investimentos florestas (IPEF, 2013). Devido a tais dificuldades o Brasil passou da primeira para a quarta posição no ranking internacional de competitividade do setor florestal.

Como saída para o problema da mão de obra, empresas de base florestal e produtores de máquinas buscam cada vez mais alternativas para mecanização e automação de operações silviculturais. Exemplos claros de redução de custos e melhorias de qualidade já foram observados ao se implantar processos mecânicos de preparo de solo, fertilização, combate a formigas cortadeiras e capina química (BORTOLAS *et al.*, 2013; CURTI e COSTA, 2013).

Para que as melhorias continuem acontecendo é necessário que as empresas se unam e continuem investindo em novas máquinas para que uma escala de produção possa ser desenvolvida. Além disso, a união de empresas florestais poderá proporcionar a criação de novas tecnologias puramente florestais ao invés de adaptações provenientes de atividades agrícolas (IPEF, 2013).

3.3 Biomassa e resíduos em plantios florestais

Em um sentido amplo, Canto (2009) define biomassa como qualquer tipo de matéria orgânica renovável, seja ela animal, vegetal ou procedente da transformação natural ou artificial da mesma como, por exemplo, o biodiesel. Mais especificamente, a biomassa florestal é composta por materiais que provém diretamente da árvore como o fuste, galhos, folhas, tocos e raízes. Casselli (2013) cita óleos e extrativos como componentes da biomassa florestal.

Os resíduos florestais, por sua vez, são compostos da biomassa que permanecem no campo após as operações de colheita florestal. Exemplo disso são os tocos, folhas galhos, parte superior da árvore, partes quebradas da árvore, toras que não atingiram dimensões mínimas de uso ou de valor comercial insuficiente que justifique a sua remoção (CANTO, 2009).

Couto e Brito (1980) avaliaram as proporções entre ramos, folhas, casca e fuste em árvores de *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus saligna* aos oito anos de idade. Como resultado, determinaram que 64% de uma árvore de *Pinus oocarpa* seria um fuste viável para a exploração, o restante resíduo. Para o *Eucalyptus saligna*, foi determinado um valor de 70% de fuste e o restante como resíduo florestal.

Tais números estão em acordo com FAO (1990) afirma que 33% da massa de uma árvore são deixados na floresta. Além disso, Jacovine *et al.* (2001) demonstrou em um sistema de colheita de *Eucalyptus* com a utilização de *harvester e forwarder*, 5,9% da madeira aproveitável era deixada para trás devido a falhas operacionais e do não atendimento às especificações de dimensões comerciais.

Em relação aos tocos, menos se conhece em relação às técnicas de extração e proporções em relação à parte aérea da árvore, pois a maioria dos sistemas de aproveitamento de resíduos simplesmente abandona os tocos na área de exploração (WALMSLEY e GODBOLD, 2009). Entretanto, Eriksson (2008) afirma que, nas coníferas, os tocos e raízes podem representar até 25% da parte aérea da planta.

3.4 Teoria do espaçamento em plantios florestais

A escolha do espaçamento é uma importante decisão ao se planejar um plantio florestal, pois a forma e o crescimento da árvore serão fortemente influenciados pelo espaço disponível para cada indivíduo em um plantio. Sendo assim, o espaçamento deve ser cautelosamente escolhido para proporcionar às árvores condições máximas de crescimento, evitando o desperdício de recursos entre as plantas (BENIN, 2014).

De maneira geral em plantios com espaçamentos mais amplos, onde a área por indivíduo é maior, os volumes individuais tendem a ser maiores e a taxa de mortalidade menor. Os espaçamentos mais reduzidos, por sua vez, resultam em alta produção volumétrica por unidade de área (BENIN, 2014). Tais espaçamentos são fortemente utilizados por empresas do setor de papel e celulose visto que o volume por unidade de área é priorizado em detrimento do volume individual das árvores (BALLONI e SIMÕES, 1980).

O espaçamento deve ser planejado também levando em consideração as características de sítio de cada local (BENIN, 2014). Entretanto, Lima *et al.* (2013) indicam que em sítios isentos de graves restrições hídricas ou nutricionais, plantios de *Pinus taeda* tendem a ter um maior incremento volumétrico quando em plantados em espaçamentos mais densos. Sendo assim, ao aumentar o espaçamento, diminui-se a produção volumétrica por unidade de área.

3.5 A prática de remoção de tocos

Historicamente a prática de remoção de tocos na Finlândia, Inglaterra e em Países Escandinavos tem sido utilizada por inúmeros motivos. Na Suécia, por exemplo, a prática teve início em 1734 onde uma lei determinava que antes do corte de árvores saudáveis, os resíduos de culturas anteriores, incluindo tocos e raízes, fossem usados (BERG, 2014).

No início do século XX, próximo a Primeira Guerra Mundial, inúmeros países do Norte Europeu temiam a escassez de metais e carvão mineral. Diante disso, as florestas se tornaram uma alternativa para a substituição do carvão. No

processo de substituição priorizou-se a utilização dos fustes das árvores para produtos mais nobres e os tocos e raízes se tornaram uma alternativa para o aquecimento das casas durante o inverno (BERG, 2014).

Na Floresta de Thetford, leste do Reino Unido, por mais de quatro décadas a remoção de tocos é realizada para o controle de fungos como *Heterobasidion annosum* que ataca o sistema radicular de *Pinus sylvestris*. A prática consiste simplesmente na remoção e enleiramento de tocos e raízes. Tal operação se mostra altamente eficiente no controle do ataque do fungo na rotação subsequente (GIBBS, 2004).

Além de finalidades energéticas e de controle fitossanitário, tocos foram amplamente utilizados pela indústria química para a extração de compostos e produção de químicos derivados de *Pinus* spp (HAKKILA, 1972). Segundo Berg (2014), na década de 1960 houve a produção de papel e painéis particulados provenientes de cavacos de tocos e raízes.

Nos últimos anos, entretanto, o maior interesse em se utilizar tocos e raízes está na produção de energia a partir desses materiais. Segundo Hakkila e Arniiala (2004), em função do aquecimento global, os atuais interesses em fontes de energia renováveis têm impulsionado as pesquisas e práticas de remoção de tocos.

Na Suécia, por exemplo, com a ratificação do protocolo de Kyoto em 2002 o governo daquele país impôs tributos elevados sobre os combustíveis fósseis, tornando, naquela época, combustíveis provenientes de madeira mais baratos quando comparados aos combustíveis fósseis. Tal medida incentivou a utilização de biomassa florestal, incluindo os tocos (BERG, 2014).

Em plantios florestais no Brasil a prática mais utilizada é o plantio em linha e, após o corte raso, a nova rotação é plantada nas entrelinhas da rotação anterior. A estratégia dificulta o realinhamento dos plantios em função da barreira física imposta pelos tocos. Além disso, em função do solo e clima do local, os tocos podem permanecer por vários anos no solo dificultando operações de colheita e silvicultura. Diante disso, existe um recente interesse das empresas florestais em utilizar o equipamento para reforma e realinhamento (CASSELLI, 2013).

3.5.1 Técnicas e equipamentos para a remoção

Ao longo do tempo, várias técnicas e equipamentos foram empregados para extração dos tocos. Pode-se citar até mesmo o uso de dinamite para explodir e desprender os tocos do solo, técnica utilizada na União Soviética até a década de 1960. Entretanto, de uma maneira geral, as técnicas evoluíram da remoção manual, para implementos movidos a tração animal e, por fim, para as técnicas atuais com a utilização de máquinas específicas (BERG, 2014).

Entretanto, segundo Kärhä (2012), atualmente o equipamento mais utilizado é o *stump harvester* (arrancador de tocos) montado em uma escavadeira hidráulica de 20 a 25 toneladas. Existem algumas variações, mas, de maneira geral, os arrancadores de tocos são projetados e desenvolvidos no formato de “pé-de-cabra” onde a parte central do toco é inserida e içada (BERG, 2014).

3.5.2 Implicações positivas da remoção de tocos

Produção de energia renovável: Segundo Repo *et al.* (2012), a produção de energia renovável é a maior motivação para a prática de remoção de tocos. O mesmo autor afirma que a energia proveniente de tocos e raízes é “carbono-neutra”, ou seja, o carbono emitido no processo de geração de energia será reabsorvido pelas plantas da próxima rotação. Aliado a isso, em países como o Brasil que possuem elevados custos de aquisição de energia elétrica, busca-se a produção de uma energia mais barata (CASSELLI, 2013). Richardson *et al.* (2002) afirma que o poder calorífico da biomassa proveniente de tocos e raízes é cerca de 20% à biomassa proveniente do fuste de uma árvore.

Controle de podridão de raízes: A podridão de raízes é causada por fungos e causa grandes prejuízos em florestas de diversos países (VASAITIS *et al.*, 2008). O fungo infecta os tocos por esporos e, após o estabelecimento em um toco, o fungo espalha os seus micélios para as árvores adjacentes, comprometendo a sanidade desses indivíduos. O fungo pode sobreviver por décadas após o corte raso, infectando a próxima geração. Uma vez estabelecido, a única forma efetiva

de reduzir a doença nas próximas gerações é a remoção de tocos. (GIBBS *et al.*, 2002).

Reforma e realinhamento de plantios florestais: Moro *et al.* (1988) descreve a prática de remoção ou rebaixamento de tocos fundamental para o bom preparo de solo. De acordo com Casselli (2013), a remoção dos tocos e o preparo de solo com cultivo mínimo é prejudicado pelos tocos de rotações anteriores que dificultam o tráfego de máquinas e implementos. Ainda, segundo o mesmo autor, a remoção de tocos é a técnica que permite que plantios em desnível sejam adequados e convertidos em plantios paralelos às curvas de nível. Tal prática, muito utilizada na agricultura, tem como objetivo evitar a erosão e, assim, proteger o solo e os recursos hídricos.

3.5.3 Implicações negativas da remoção de tocos

Exportação de nutrientes: Segundo Moffat (2011), as raízes apresentam elevada concentração de nutrientes enquanto tocos possuem reduzidas concentrações dos mesmos. A prática de remoção de tocos e raízes pode levar à exportação de nutrientes que seriam decompostos e disponibilizados para as plantas da próxima rotação caso permanecessem em campo (PALVIAINEN *et al.*, 2010). Forest Research (2009) recomenda a prática do zoneamento de áreas para remoção de tocos em função dos atributos químicos do solo. Solos pobres em nutrientes essenciais devem ser evitados uma vez que são mais suscetíveis à depleção. Pitman (2006) aponta que uma estratégia eficiente para a manutenção dos atributos químicos do solo é a adubação de reposição e aplicação de calcário ou cinza proveniente de madeira.

Acidificação: Existem indicativos de que a remoção de tocos e raízes pode levar a acidificação do solo. Entretanto, poucos experimentos foram desenvolvidos para verificar essa implicação. Hope (2007) não encontrou efeitos significativos da remoção de tocos e raízes no pH do solo enquanto Staaf e Olsson (1994) observaram uma excessiva remoção de cátions, nitrificação e posterior

acidificação. Em função da falta de informações, acredita-se que a maior ou menor acidificação ocorrerá em função da capacidade tampão do solo.

Estrutura física do solo: é consenso na literatura que a prática de remoção de tocos e raízes pode causar danos severos à estrutura física do solo (WALMSLEY e GODBOLD, 2009). Os danos são causados por distúrbios durante a remoção como a inversão de horizontes e a descompactação excessiva do solo. Além disso, o tráfego intenso de máquinas pesadas durante as operações é prejudicial ao solo. Forest Research (2009) recomenda que tais operações não sejam desenvolvidas em áreas de solo turfoso, hidromórfico, gleissolos, arenosos ou com lençol freático pouco profundo. Além dessas condições de solo, declives de mais de 20° devem ser evitados. Operações nesses tipos de solos e declividade podem causar erosão e, portanto, danos ambientais e impactos negativos na rotação subsequente. Deve-se, então, zonear as áreas com possibilidade de remoção em função da maior ou menor suscetibilidade física do solo à essa operação.

Carbono no solo: Solos florestais, em especial aqueles com espécies de coníferas, contém grandes reservas de carbono, em alguns casos maiores que as quantidades de carbono na parte aérea das plantas. Os distúrbios causados pela remoção de tocos e raízes podem levar a mineralização e perda de carbono na forma de dióxido (REYNOLDS, 2007). Atualmente a emissão de dióxido de carbono é uma preocupação internacional em função das mudanças climáticas causadas pelo efeito estufa. Diante disso, existem preocupações quanto a sustentabilidade das operações (MOFFAT, 2011). Hope (2007) afirma que mais de 1 tC ha⁻¹ ano⁻¹ pode ser perdida em comparação com os sítios sem operações de remoção de toco.

Água: operações de remoção de tocos podem afetar a movimentação de água em uma bacia hidrográfica. Moffat (2011) afirma que em solos argilosos ricos em matéria orgânica, existe a probabilidade de que a infiltração da água seja dificultada. O buraco remanescente após a remoção tende a ter as suas paredes seladas e, posteriormente, estará mais suscetível a compactação e erosão,

levando ao assoreamento de corpos d'água. Quanto aos atributos químicos da água, Olsson (1995) não observou alterações significativas em áreas com operações de remoção de tocos.

3.5.4 Impacto no desenvolvimento das rotações subsequentes

A combinação de efeitos no sítio em que as operações são realizadas poderão beneficiar ou prejudicar as rotações seguintes. O impacto nas próximas rotações será determinado em função de variáveis como o maquinário utilizado, treinamento do operador, condições meteorológicas, mas, principalmente, pelo sítio em que a operação será desenvolvida (FOREST RESEARCH, 2009).

Ainda, de acordo com Forest Research (2009), existem indícios que no curto prazo a remoção de tocos pode aumentar a disponibilidade de nutrientes no solo e aumentar a sobrevivência e crescimento de árvores em dadas situações. Entretanto, não se sabe se os efeitos positivos observados no curto prazo podem ser mantidos ao longo do tempo, especialmente em função da exportação e lixiviação de nutrientes importantes.

Diante das incertezas, Moffat *et al.* (2011) sugere que seja realizado o zoneamento e realização das operações de remoção de tocos somente nas regiões aptas. O zoneamento deverá levar em consideração fatores como classe do solo, declividade e hidromorfismo. Tal medida poderá reduzir os impactos negativos da operação, evitando prejuízos ambientais e econômicos.

3.5.5 Viabilidade econômica da operação

De acordo com Machado (2002) a operação de remoção de tocos e raízes é difícil, onerosa e só deve ser realizada quando o material extraído possui algum valor comercial. Exemplo disso é a utilização do material como biomassa para geração de energia ou, ainda, materiais com alta concentração de extrativos ou com potencial medicinal.

Forest Research (2009) aponta que, no Reino Unido, o custo de remoção de raízes é de cerca de 35 R\$/t. Ao se estudar a viabilidade econômica da

operação, devem ser estudados cuidadosamente os custos das operações subsequentes como baldeio e transporte do material. Casselli (2013), desconsiderando o custo de transporte, aponta um valor de 80 R\$/t para a remoção de tocos e raízes no interior do estado de São Paulo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Materiais

O teste de produtividade e consumo de combustível do *stump harvester* foi conduzido em áreas de plantios de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* de uma empresa do setor de papel e celulose localizada no município de Três Barras, planalto norte de Santa Catarina.

4.1.1 Manejo florestal adotado pela empresa

A empresa adota um sistema de manejo que visa a maximização do volume de madeira produzido por hectare. Nesse sistema está previsto um espaçamento de 2,5 m por 2,5 m, ou seja, 6,25 m² por planta, totalizando 1600 árvores por hectare. A idade de corte é de dezesseis anos para o gênero *Pinus* e oito anos para o gênero *Eucalyptus*. Não são realizadas atividades de poda ou desbaste ao longo da rotação. De acordo com a empresa, esse é o regime de manejo que garante a maior produção volumétrica, necessária para atender a elevada demanda da indústria de papel. Entretanto, é válido ressaltar que mortalidade e falhas no plantio levam a redução do número de árvores por hectare.

4.1.2 Clima e meteorologia nas áreas de teste

As duas áreas de teste, *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*, estão localizadas em uma região onde o clima é classificado como Cfb no sistema Köppen. Tal classificação refere-se a áreas com clima temperado constantemente úmido, sem estação seca, com verão fresco e geadas frequentes. A precipitação média anual é de 1.588,5 mm bem distribuídos ao longo do ano, sendo abril o mês mais seco com 90,1 mm e outubro o mais chuvoso com 197,5 mm. A temperatura média do mês mais frio é de 11,7°C em julho e do mês mais quente é de 21,3°C em janeiro. O número médio de geadas por ano é de 17,3.

4.1.3 Área de *Pinus taeda*

A área de *Pinus taeda* destinada para o teste está localizada em uma fazenda no município de Mafra- SC (FIGURA 01). As árvores da área foram colhidas com 14 anos e através de inventário realizado obteve-se as informações dendrométricas do plantio: DAP médio de 23,5 cm, área basal de 60,35 m²/ha e número densidade de 1266 árvores/hectare. O teste ocorreu dois meses após as operações de colheita. O solo na área é do tipo latossolo vermelho-amarelo com textura argilosa. Nas bordaduras da área de trabalho havia uma elevada quantidade de resíduo devido ao sistema *full-tree* de colheita (FIGURA 02).



FIGURA 1- LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE TESTE DE *PINUS TAEDA*.
ELABORAÇÃO: O AUTOR (2015).



FIGURA 2- ASPECTO DA ÁREA DE TESTE DE *PINUS TAEDA*.
ELABORAÇÃO: O AUTOR (2015).

4.1.4 Área de *Eucalyptus dunnii*

O teste de remoção de tocos em *Eucalyptus dunnii* foi conduzido em uma fazenda localizada em Três Barras- SC (FIGURA 03). As árvores foram colhidas com 10 anos e o inventário pré-corte indicou um DAP médio de 20,19 cm, área basal de 41 m²/ha e densidade de 1127 árvores/ha. Assim como a área de *Pinus taeda*, os testes foram conduzidos dois meses após a realização do corte raso. Os solos na área são de duas classes: latossolo vermelho nas partes mais altas do relevo e cambissolo em áreas de encosta. Nessa fazenda, as bordaduras dos talhões também possuíam elevadas quantidades de resíduos (FIGURA 04).



FIGURA 3-LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE TESTE DE *EUCALYPTUS DUNNII*.
ELABORAÇÃO: O AUTOR (2015).



FIGURA 4- ASPECTO DA ÁREA DE TESTE DE *EUCALYPTUS DUNNII*.
FONTE: O AUTOR (2015).

4.1.5 Equipamento testado

O equipamento em questão é o arrancador de tocos (*stump harvester*) modelo TyRex, projetado e produzido pela PESA (Paraná Equipamentos S.A), montado em uma escavadeira hidráulica modelo Caterpillar 336 DL. A escavadeira hidráulica possui motor modelo CAT C9 com tecnologia ACERT™, com potência líquida de 268 hp. O peso é de 37.631 kg e a largura entre as esteiras da máquina é de 3,39 m. O tanque de combustível possui 620 L de capacidade. O fluxo hidráulico entre máquina base e implemento é de 280 L/min. O comprimento da lança é de 6,5 m e braço de 3,7 m (FIGURA 05)



FIGURA 5- STUMP HARVESTER
FONTE: O AUTOR (2015).

O implemento foi projetado em formato de “pé de cabra” e objetivo é a inserção na base do toco e a remoção com o movimento de alavanca. O implemento dispõe também de uma lâmina cortante que tem como função assegurar os tocos ao implemento e rachar os tocos de maior diâmetro (FIGURA 06).



FIGURA 6- IMPLEMENTO *STUMP HARVESTER*

4.2 Métodos

4.2.1 Determinação da produtividade

Os dados coletados em campo foram a produtividade e consumo médio de combustível pela máquina. Para a determinação da produtividade, cronometrou-se com auxílio de um cronômetro digital o tempo de efetivo trabalho e o número de tocos arrancados com o auxílio de um contador digital. Através da relação entre tocos arrancados e tempo cronometrado, determinou-se a produtividade média da máquina:

$$\textit{Produtividade média} = \frac{\textit{número de tocos arrancados} \textit{ (n)}}{\textit{tempo} \textit{ (min)}}$$

A produtividade média do equipamento foi registrada diariamente e considerou-se como valor de produtividade a média aritmética dos últimos cinco dias de operação para o *Pinus* e *Eucalyptus*. Dessa maneira, buscou-se a utilização de valores após o período de treinamento do operador. Os testes de

remoção de *Pinus taeda* foram conduzidos entre os dias 12/08/2015 e 28/08/2015 e os testes de remoção de *Eucalyptus dunnii* foram conduzidos entre os dias 01/09/2015 e 26/09/2015.

4.2.2 Fatores que afetam a produtividade

A determinação dos fatores que afetam a produtividade do equipamento foi feita através da observação em campo da operação da máquina e diálogos com o operador do *stump harvester*, buscando a identificação dos fatores que mais afetam o desempenho da operação. As observações foram feitas diariamente em um formulário específico para observações e, ao fim dos testes, fez-se a compilação das observações de fatores que afetam a produtividade do *stump harvester*.

4.2.3 Consumo de combustível

O consumo do *stump harvester* foi determinado pela relação entre combustível consumido e o número de horas trabalhadas. A quantidade de combustível consumida foi determinada a partir de um tanque cheio e todos os abastecimentos subsequentes foram feitos até o preenchimento completo do tanque. Dessa maneira, obtém-se o volume exato de combustível consumido. O número de horas trabalhadas é determinado pela diferença do horímetro da máquina entre dois abastecimentos.

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Combustível consumido (L)}}{\text{Horas trabalhadas (h)}}$$

4.2.4 Custos

Para a determinação do custo de operação do *stump harvester* foram utilizados dados coletados durante o período de teste, informações de vendedores e também informações provenientes de máquinas utilizadas pela

empresa com características semelhantes à máquina testada. Exemplo dessas máquinas são os *fellers* e carregadores florestais que também possuem escavadeiras hidráulicas como máquina base. O custo total de operação é a soma dos custos fixos e custos variáveis. Primeiramente determinou-se o custo horário e, em seguida, através do cruzamento com os dados de produtividade do *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* obteve-se o custo de operação por hectare para cada espécie (R\$/ha). A FIGURA (07) descreve o procedimento de cálculo.

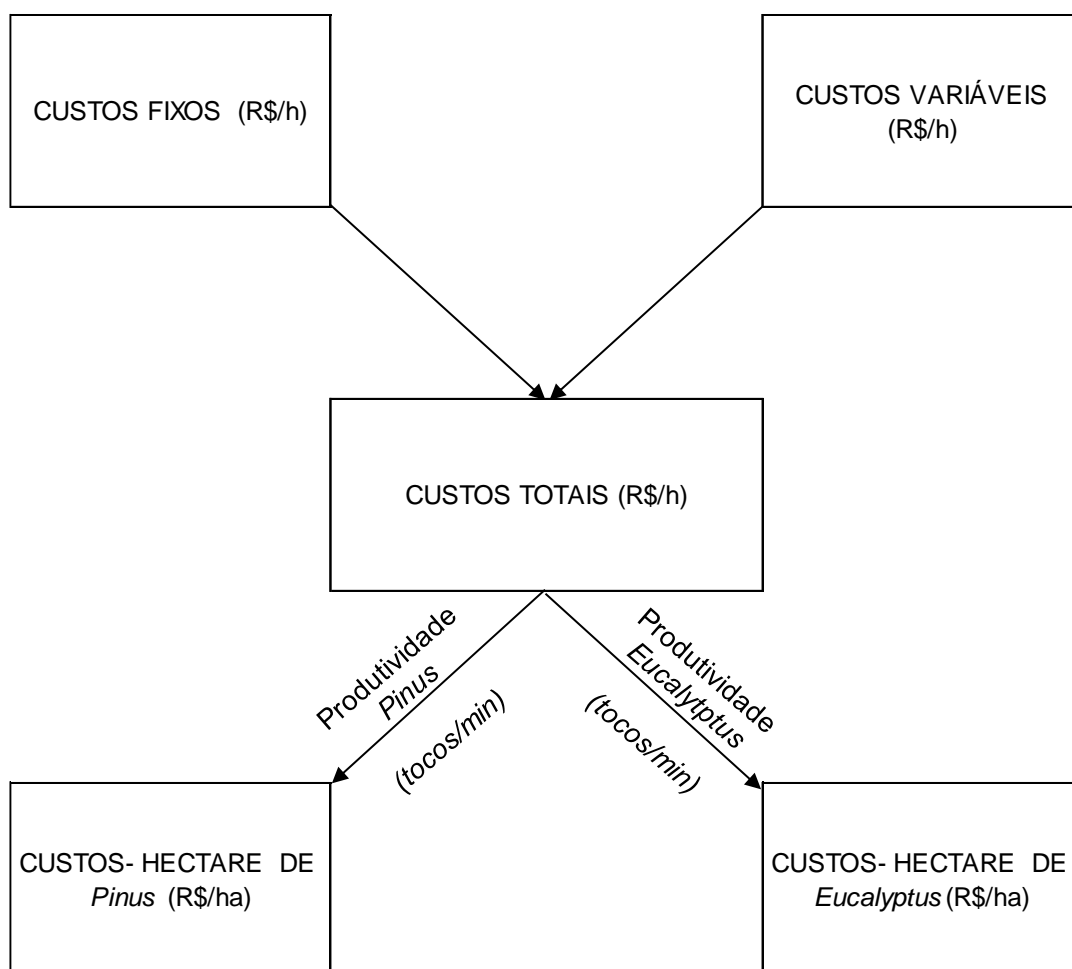


FIGURA 7- PROCEDIMENTO PARA A DETERMINAÇÃO DO CUSTO DA OPERAÇÃO

Custos fixos: os custos fixos são os custos inalteráveis no curto prazo e independem do nível de atividade da empresa. Para a determinação do custo fixo do *stump harvester* foram determinados: (I) Custo horário de utilização do equipamento; (II) Custo horário do operador da máquina.

- (I) Valor horário de utilização da máquina: é determinado pela razão da diferença entre valor de aquisição e valor residual do equipamento pela vida útil recomendada pelo fabricante:

$$\text{Valor horário máquina} = \frac{(\text{Valor de aquisição} - \text{Valor residual}) \frac{(R\$)}{(h)}}{\text{Vida útil}}$$

- (II) Custo horário do operador da máquina: o custo horário do operador da máquina foi determinado pela razão entre a soma da remuneração mensal e encargos sociais do operador e a jornada de trabalho mensal:

$$\text{Valor horário operador} = \frac{(\text{Salário} + \text{Encargos sociais}) \frac{(R\$)}{(h)}}{\text{Jornada de trabalho mensal}}$$

Custos variáveis: os custos fixos são aqueles alteráveis no curto prazo e estão diretamente vinculados a produção. Os componentes do custo variável do *stump harvester* são: (III) Combustível; (IV) Lubrificação e (V) Peças e manutenção.

- (III) Combustível: o consumo horário médio de combustível, consumido pelo equipamento durante o período de testes, foi multiplicado pelo valor do combustível pago pela empresa:

$$\begin{aligned} \text{Valor horário combustível} \\ = (\text{Consumo médio} \frac{(L)}{(h)} * \text{Preço do combustível} \frac{(R\$)}{(h)}) \end{aligned}$$

4.2.5 Estimativa de receitas

Levantamentos feitos pela equipe de controle de qualidade da empresa indicam que até 15% da área de efetivo plantio é perdida por problemas de alinhamento que geram uma redução no aproveitamento da área. Dessa maneira o número de plantas por hectare é reduzido e cada planta terá uma área individual maior. Não se conhece o impacto direto da redução de número de plantas por hectare sobre o crescimento volumétrico da floresta.

De acordo com o setor de colheita da empresa, o volume colhido por hectare é de aproximadamente 623 m³/ha. Para a presente análise foram assumidos valores de acréscimo no volume colhido devido à reforma com utilização do *stump harvester*. Foram utilizados os valores estimados de 2,5%, 5%, 10% e 15% de acréscimo no volume colhido por hectare.

O preço utilizado para valorar a madeira “em-pé” foi consultado no boletim da CONSUFOR, onde preços de mercado são apresentados para os diferentes *clusters* florestais. A fim de manter a análise fiel ao local de estudo foi utilizado o preço praticado no *cluster* de Três Barras- SC. O valor utilizado é de 60 R\$/m³ para a madeira em pé.

4.2.6 Indicadores econômicos

Fluxo de caixa: é a projeção dos custos e receitas ao longo do horizonte de planejamento do projeto. Nesse caso, o horizonte de planejamento será a idade de colheita dos plantios de *Pinus* e *Eucalyptus*, quinze e oito anos respectivamente.

VPL: Indicador econômico que representa a diferença entre o valor presente das receitas menos o valor presente dos custos. Determina o lucro global do projeto descapitalizado a uma taxa de interesse pré-determinada para o período zero do horizonte de planejamento. A taxa a ser adotada no projeto é de 10%. É obtido pela seguinte fórmula:

$$VPL = \sum_{t=1}^N \frac{Ft}{(1+i)^t}$$

Onde:

Ft= Fluxo de caixa anual em R\$;

i= Taxa Mínima de Atratividade;

t= tempo em anos;

TIR: representa a taxa percentual do retorno do capital investido e expressa o retorno percentual do investimento, indicando também a margem de risco inerente ao negócio. É o valor percentual quando o valor presente líquido é igual a 0.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Produtividade

5.1.1 Produtividade em *Pinus taeda*

A evolução da produtividade ao longo do período de teste em plantio de *Pinus taeda* está representada na FIGURA 08. A média dos últimos cinco dias, que será utilizada para as próximas etapas do estudo, foi de 3,88 tocos/min. Tal valor é ligeiramente superior aos valores relatados por Larsson e Hallman (1980).

Observa-se que a curva de aprendizagem não segue o formato típico de evolução. Ao longo do teste em *Pinus taeda*, a produtividade variou em função da quantidade de resíduos na área. Em áreas de bordadura, com maior concentração de resíduos de colheita florestal, a visualização dos tocos é mais difícil, prejudicando a operação.

Além da visualização, linhas de trabalho mais curtas tendem a apresentar uma produtividade menor, pois o tempo de manobra da máquina é maior. Observou-se também que a umidade excessiva do solo, encontrada em alguns pontos, prejudica a operação de remoção de tocos, pois a máquina tende a afundar no solo.

Quanto ao diâmetro dos tocos, observou-se que diâmetros de 40 cm proporcionam a maior produtividade do equipamento. Em algumas situações, tocos menores de 40 cm estão suscetíveis a passar entre as garras de remoção do equipamento. Tocos maiores de 40 cm demandam mais tempo para serem arrancados.

O conjunto de fatores expostos acima fez com que a curva de aprendizagem fosse irregular, com altos e baixos durante o teste. O valor médio obtido, entretanto, foi satisfatório e superior aos valores estipulados pelos fabricantes e valores observados na literatura como, por exemplo, em Larsson e Hallmann (1980).

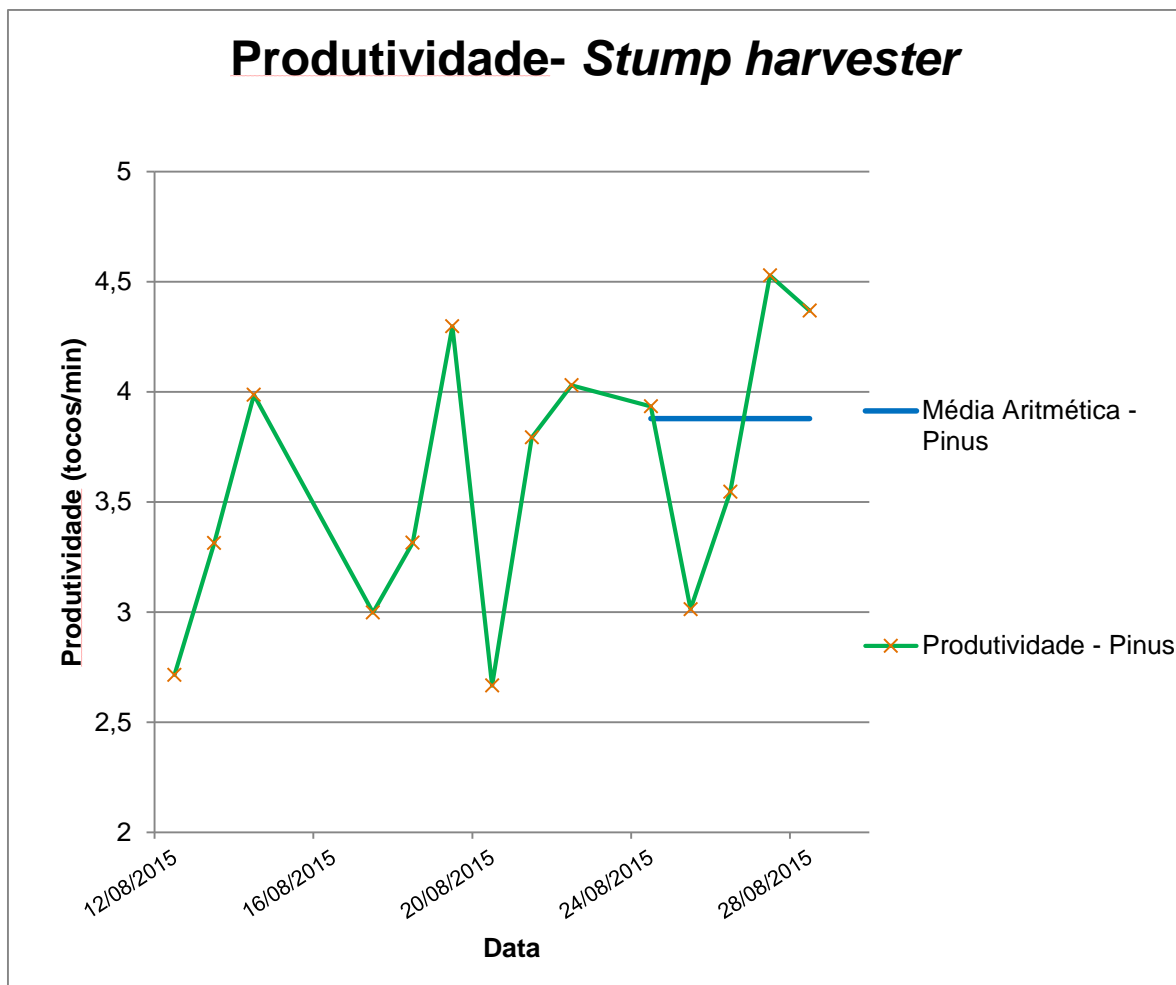


FIGURA 8- PRODUTIVIDADE DO *STUMP HARVESTER* EM *PINUS TAEDA*.
 FONTE: O AUTOR (2015).

5.1.2 Produtividade em *Eucalyptus dunnii*

O teste foi conduzido entre os dias 01/09/2015 a 26/09/2015 e a evolução da produtividade ao longo deste período está representada na FIGURA 08. A média dos últimos cinco dias, que será utilizada para as próximas etapas do estudo, foi de 3,19 tocos/min.

Ao testar um destocador Motocana montado em uma escavadeira hidráulica Sunward SWE 320 LC, Casselli (2013) obteve uma produtividade de 2,82 tocos/min em um plantio de *Eucalyptus urograndis* em um espaçamento de 3 por 2 m. Verificou-se, assim, um valor 13% superior ao encontrado por Casselli (2013).

Assim como no *Pinus taeda*, a visibilidade dos tocos influenciou a produtividade da máquina. Quanto maior a visibilidade, mais fácil a remoção dos

tocos. Locais com excesso de resíduos, como a bordadura dos talhões, onde ocorre o processamento das árvores normalmente demandam mais tempo para a realização da operação.

Observou-se que o sistema radicular do *Eucalyptus dunnii* possui um volume de raízes laterais maior que proporcionam uma maior fixação e, por consequência, tornam a remoção mais difícil. O *Pinus taeda*, por sua vez, possui a raiz pivotante mais desenvolvida, mas um menor volume de raízes laterais, o que torna a sua remoção mais fácil.

Para o *Eucalyptus dunnii*, diâmetros entre 25 e 30 cm proporcionaram a maior produtividade do equipamento. Tocos de árvores de grandes diâmetros nas bordaduras apresentaram uma elevada dificuldade elevada para serem arrancados.

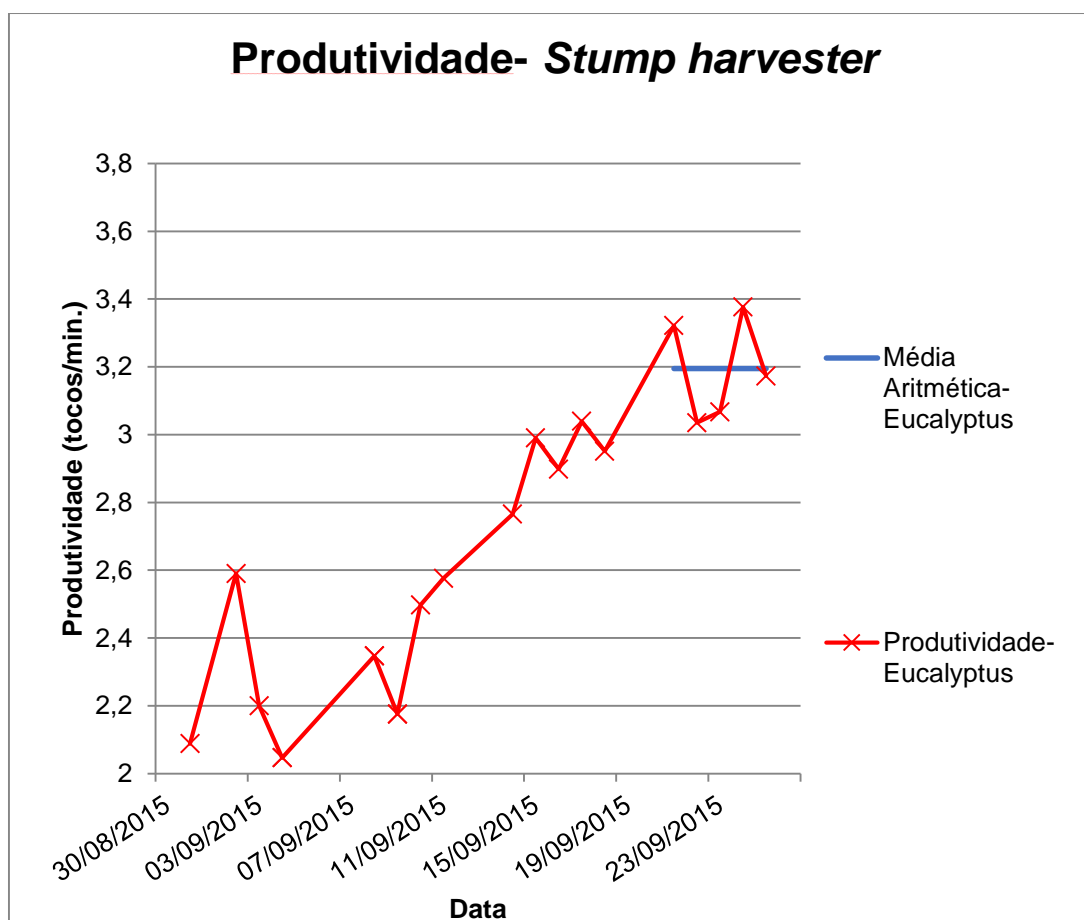


FIGURA 09- PRODUTIVIDADE DO STUMP HARVESTER EM *EUCALYPTUS DUNNII*.

5.1.3 Comparação da operação entre *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*

A produtividade da operação em *Pinus taeda* foi superior quando comparada a operação em *Eucalyptus dunnii* (FIGURA 10). Tal diferença foi devido ao sistema radicular com raízes laterais bastante desenvolvidas que dificultam a remoção.

As outras variáveis que influenciam a operação como a habilidade do operador, condições da máquina, condições meteorológicas, espaçamento, relevo, foram semelhantes nas áreas. Assim, conclui-se que a operação de remoção de *Pinus taeda* tende a ser naturalmente mais produtiva que a operação em *Eucalyptus dunnii*.

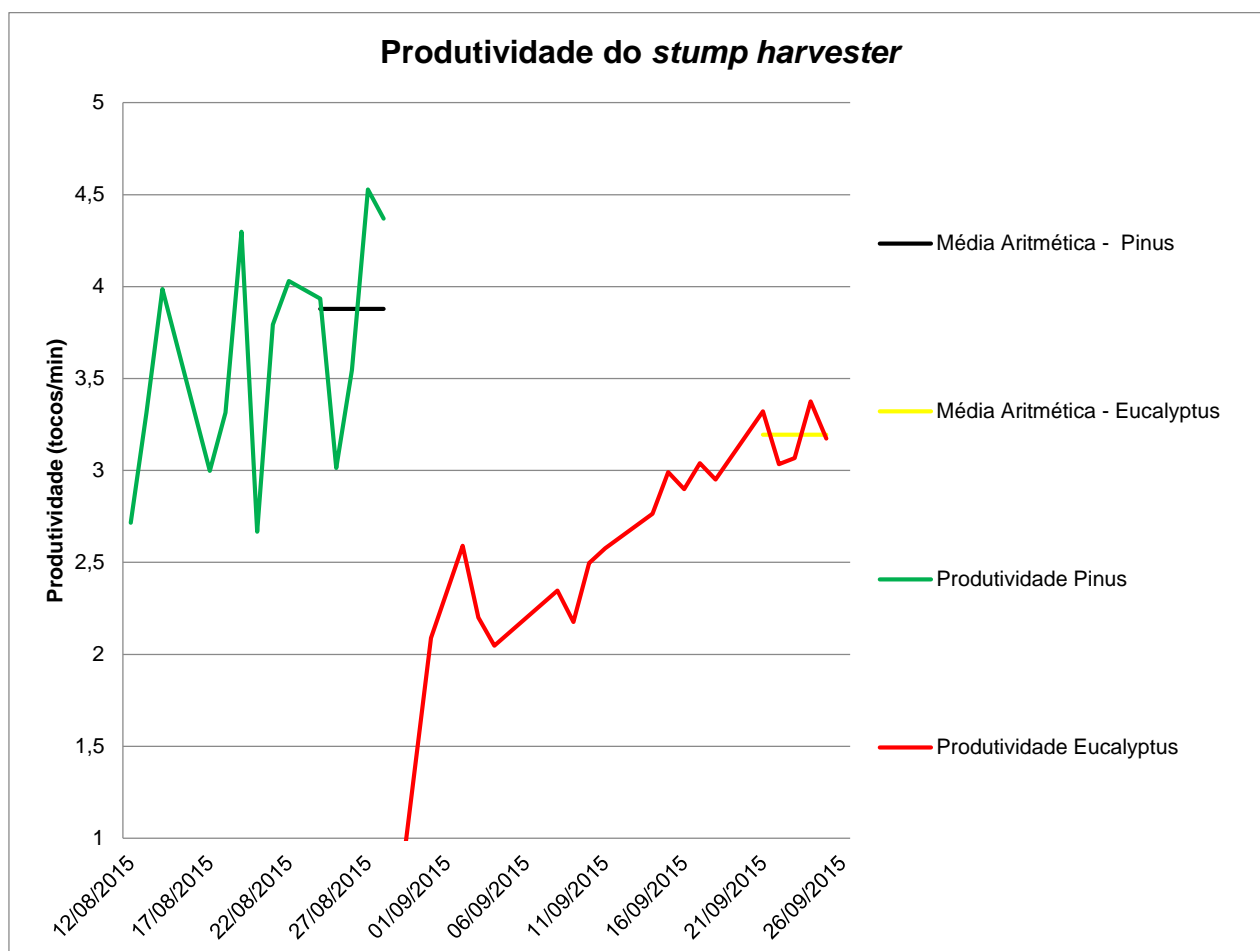


FIGURA 10- COMPARAÇÃO DA PRODUTIVIDADE EM *PINUS TAEDA* E *EUCALYPTUS DUNNII*

5.2 Síntese dos fatores que afetam a operação

Ao longo do período de teste fez-se uma síntese dos fatores que mais impactam a produtividade do *stump harvester*, conforme descrição a seguir:

1. Visibilidade dos tocos: a marcação dos tocos facilita a visualização e o operador evita perdas de tempo procurando o toco que será arrancado. Operações noturnas não são significativamente afetadas;
2. Número de linhas de remoção: durante o teste, observou-se que trabalhar arrancando cinco linhas de tocos por vez proporciona maior produtividade;
3. Comprimento das linhas de trabalho: linhas muito curtas de remoção implicam em uma produtividade menor, pois exigem maior tempo de manobra;
4. Topografia: observou-se que trabalhar em áreas planas é mais produtivo seguido por aclives e declives;
5. Umidade excessiva: áreas naturalmente úmidas ou com grandes quantidades de resíduos são mais difíceis de serem trabalhadas, pois a máquina tende a afundar e tem sua produtividade afetada;
6. Dimensão dos tocos: o diâmetro ótimo de toco para a remoção é de aproximadamente 40 cm para *Pinus* e 30 cm para *Eucalyptus*. Valores muito superiores ou muito inferiores tornam a operação mais lenta;
7. Compactação da terra: áreas muito compactadas como “*skid trails*” e estaleiros fazem com que o solo esteja mais atrelado às raízes, dificultando a remoção;
8. Limpeza de resíduos: após a remoção, o operador pode optar por movimentar o material arrancado para remover a terra. Entretanto, quanto maior o tempo de limpeza, menor é a produtividade;

9. Precipitação: chuvas fazem com que o solo perca a resistência e a máquina tende a afundar, tornando-se menos produtiva;
10. Técnica de remoção: ao arrancar o *Eucalyptus*, a garra deve ser inserida nas partes mais altas do toco. No *Pinus* deve-se utilizar o movimento de alavanca com o uso do pé-de-cabra.

5.3 Consumo de combustível

Durante o período de testes foram feitos quatorze abastecimentos e o consumo foi obtido através da fórmula apresentada em 4.2.2. O consumo médio durante o período de testes foi de 39,5 L/h.

5.4 Custos

O custo horário da máquina foi obtido através da soma dos custos fixos e variáveis envolvidos na operação e estão representados na TABELA 1. Foram computados os custos de aquisição da máquina, mão de obra, combustível e lubrificação e manutenção.

TABELA 1- CUSTO HORÁRIO DO STUMP HARVESTER

Descrição	Unidade	Valor
Máquina (I)		
Valor de aquisição da máquina	R\$	900.000,00
Valor de aquisição do implemento	R\$	150.000,00
Valor total	R\$	1.050.000,00
Valor residual da máquina e implemento	R\$	210.000,00
Vida útil da máquina	h	25.000,00
Sub-total (I)	R\$/h	33,60

Descrição	Unidade	Valor
Mão de obra (II)		
Salário- operador	R\$/mês	2.500,00
Fator de Encargos		2,20
Custo total- operador	R\$/mês	5.500,00
Carga horária mensal	h/mês	120,00
Sub-total (II)	R\$/h	45,83
Combustível e lubrificação (III)		
Consumo médio	L/h	39,50
Preço diesel	R\$/L	2,62
Custo horário- lubrificação	R\$/h	6,90
Sub-total (III)	R\$/h	110,51
Manutenção (IV)		
Mão de obra-- manutenção	R\$/h	3,19
Material Rodante	R\$/h	8,00
Peças	R\$/h	35,00
Sub-total (IV)	R\$/h	46,19
Total geral	R\$/h	236,13

Após a determinação do custo horário de operação, o mesmo foi cruzado com a produtividades de *Pinus taeda* (TABELA 2) e, assim, obteve-se o custo por hectare da operação.

TABELA 2- CUSTO DA REMOÇÃO DE UM HECTARE DE *PINUS TAEDA*

Produtividade <i>Pinus</i>	3,88	tocos/min
Média de tocos por hectare	1.500,00	tocos
Tempo para trabalhar 1 hectare	386,60	min
Tempo para trabalhar 1 hectare	6,44	horas
Custo para a remoção de 1 hectare	1.521,47	R\$/ha

O mesmo custo horário foi cruzado com os dados de produtividade de remoção de *Eucalyptus dunnii* e obteve-se o custo por hectare da operação (TABELA 3).

TABELA 3- CUSTO DA REMOÇÃO DE UM HECTARE DE *EUCALYPTUS DUNNII*

Produtividade <i>Eucalyptus</i>	3,19	tocos/min
Média de tocos por hectare	1.500,00	tocos
Tempo para trabalhar 1 hectare	470,22	min
Tempo para trabalhar 1 hectare	7,84	horas
Custo para a remoção de 1 hectare	1.778,72	R\$/ha

5.5 Receitas

O acréscimo de receita, baseado nas hipóteses de 2,5%, 5%, 10% e 15% de acréscimo volumétrico sobre o volume colhido confrontados com o preço de mercado da “madeira em pé” de 60 R\$/ha, levou a um aumento mínimo de 934,50 R\$/ha e máximo de 5.607 R\$/ha. Os resultados estão expostos na TABELA 4.

TABELA 4- ACRÉSCIMO DE RECEITA PROMOVIDO PELO REALINHAMENTO DO PLANTIO DE *PINUS TAEDA*

Acréscimo Volumétrico (%)	Acréscimo Volumétrico (m ³ /ha)	Preço da madeira em pé (R\$/m ³)	Acréscimo da Receita (R\$/ha)
15,00	93,45	60,00	5.607,00
10,00	62,30	60,00	3.738,00
5,00	31,15	60,00	1.869,00
2,50	15,57	60,00	934,50

As estimativas de acréscimo de receitas de *Eucalyptus dunnii* baseadas nas hipóteses de acréscimo volumétrico de 2,5%, 5%, 10% e 15% associados ao preço de mercado da madeira em pé de 45 R\$/m³ variam de 934,50 a 5.607 R\$/ha. Os resultados estão expostos na TABELA 4.

TABELA 5- ACRÉSCIMO DE RECEITA PROMOVIDO PELO REALINHAMENTO DO PLANTIO DE *EUCALYPTUS DUNNII*

Acréscimo Volumétrico (%)	Acréscimo Volumétrico (m ³ /ha)	Preço da madeira em pé (R\$/m ³)	Acréscimo da Receita (R\$/ha)
15,00	54,00	45,00	2.430,00
10,00	36,00	45,00	1.620,00
5,00	18,00	45,00	810,00
2,50	9,00	45,00	405,00

5.6 ANÁLISE ECONÔMICA

Para a análise foram utilizadas as quatro situações propostas de acréscimo de receitas. Os resultados do investimento em plantios de *Pinus taeda* estão representados na TABELA 06.

TABELA 6- FLUXO DE CAIXA DO INVESTIMENTO EM PLANTIOS DE PINUS TAEDA

Ano	Custo (R\$)	15%		10%		5%		2,50%	
		Acréscimo de Receita (R\$/ha)	Fluxo de Caixa (R\$)	Acréscimo de Receita (R\$/ha)	Fluxo de Caixa (R\$)	Acréscimo de Receita (R\$/ha)	Fluxo de Caixa (R\$)	Acréscimo de Receita (R\$/ha)	Fluxo de Caixa (R\$)
0	1.521,47	0	-	0	-	0	-	0	-
1	0	0	1.521,47	0	1.521,47	0	1.521,47	0	1.521,47
2	0	0	-	0	-	0	-	0	-
3	0	0	-	0	-	0	-	0	-
4	0	0	-	0	-	0	-	0	-
5	0	0	-	0	-	0	-	0	-
6	0	0	-	0	-	0	-	0	-
7	0	0	-	0	-	0	-	0	-
8	0	0	-	0	-	0	-	0	-
9	0	0	-	0	-	0	-	0	-
10	0	0	-	0	-	0	-	0	-
11	0	0	-	0	-	0	-	0	-
12	0	0	-	0	-	0	-	0	-
13	0	0	-	0	-	0	-	0	-
14	0	0	-	0	-	0	-	0	-
15	0	0	-	0	-	0	-	0	-
16	0	5.607,00	5.607,00	3.738,00	3.738,00	1.869,00	1.869,00	934,50	934,50

Observa-se que somente em uma situação onde o aumento da produção de madeira é igual a 2,5% os custos superam as receitas, gerando um fluxo de caixa negativo.

A TABELA 07 apresenta os resultados do investimento em plantios de *Eucalyptus dunnii*. Ao contrário do *Pinus taeda*, para o *Eucalyptus dunnii* as receitas só superam os custos quando o aumento na produção de madeira é de 15%.

TABELA 7- FLUXO DE CAIXA DO INVESTIMENTO EM PLANTIOS DE *EUCALYPTUS DUNNII*

Ano	Custo (R\$)	15%		10%		5%		2,50%	
		Acréscimo de Receita (R\$/ha)	Fluxo de Caixa (R\$)	Acréscimo de Receita (R\$/ha)	Fluxo de Caixa (R\$)	Acréscimo de Receita (R\$/ha)	Fluxo de Caixa (R\$)	Acréscimo de Receita (R\$/ha)	Fluxo de Caixa (R\$)
0	1.778,72	0	-1.778,72	0	-1.778,72	0	-1.778,72	0	-1.778,72
1	0	0	-	0	-	0	-	0	-
2	0	0	-	0	-	0	-	0	-
3	0	0	-	0	-	0	-	0	-
4	0	0	-	0	-	0	-	0	-
5	0	0	-	0	-	0	-	0	-
6	0	0	-	0	-	0	-	0	-
7	0	0	-	0	-	0	-	0	-
8	0	2430,00	2.430,00	1620,00	1.620,00	810,00	810,00	405	405,00

Os resultados mais favoráveis ao *Pinus taeda* são em função da maior produtividade do *stump harvester* na operação de remoção. Aliado a isso, o maior valor agregado da madeira de *Pinus taeda* proporciona uma receita maior no momento do corte raso e venda da madeira.

Em seguida, a partir do fluxo de caixa, calculou-se o valor presente líquido e a taxa interna de retorno do projeto. Assim como no fluxo de caixa, fez-se a suposição de quatro taxas de aumento de volume de madeira e receitas. Como descrito em 4.2.6, a taxa utilizada no cálculo do VPL foi de 10%. Os indicadores estão representados na TABELA 8.

TABELA 8- INDICADORES ECONÔMICOS DO PROJETO

Acréscimo de receita (%)	<i>Pinus taeda</i>		<i>Eucalyptus dunnii</i>	
	VPL (R\$)	TIR (%)	VPL (R\$)	TIR (%)
15	- 179,20	9,08	-645,11	3,98
10	- 626,62	6,18	-1022,98	-1,16
5	-1.074,04	1,38	-1400,85	-9,36
2,5	-1.297,76	-3,20	-1589,79	-16,89

Observa-se que em todas as situações o projeto teve valor presente líquido negativo. Isso indica que em todas as situações o projeto é inviável quando utilizada uma taxa mínima de atratividade de 10%. Constata-se, portanto, que o

fluxo de caixa depreciado anualmente pela taxa proposta gera um resultado negativo, indicando inviabilidade econômica.

Por outro lado, observa-se o valor presente líquido negativo e taxa interna de retorno positiva em quatro situações. Isso ocorre quando o balanço geral do projeto, baseado apenas no fluxo de caixa livre e desconsiderando a taxa mínima de atratividade, é positivo. Diante disso, caso a taxa mínima de atratividade seja reduzida ao valor da taxa interna de retorno ou inferiores, o projeto será viável.

6 CONCLUSÃO

A produtividade média do equipamento para a remoção de tocos de *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii* foi de 3,88 e 3,19 tocos/min, respectivamente. Os fatores que afetam a operação são: visibilidade dos tocos, número de linhas de remoção, comprimento das linhas de trabalho, topografia, umidade da área, dimensão dos tocos, compactação do solo, tempo para limpeza de resíduos, precipitação e técnica de remoção. O custo calculado para a remoção de tocos de *Pinus taeda* foi de 1.521,47 R\$/ha e de 1.778,72 R\$/ha para a remoção de *Eucalyptus dunnii*. As receitas máximas advindas de ganhos pelo realinhamento foram estimadas em 5.607,00 e 2.430,00 R\$/ha para *Pinus taeda* e *Eucalyptus dunnii*, respectivamente. A uma taxa mínima de atratividade de 10% a.a, o equipamento não é viável para a utilização exclusiva na reforma de plantios florestais. Existe, entretanto, um grande potencial de geração de receitas a partir da venda do material removido como biomassa para a geração de energia.

7 RECOMENDAÇÕES

- Os custos da operação foram quantificados integralmente. As receitas, entretanto, foram estimadas. Recomenda-se a verificação das receitas advindas dessa operação no futuro;
- Recomenda-se a quantificação e qualificação (poder calorífico e nível de cinza) da biomassa produzida a partir de tocos e raízes visando a geração de receitas. Possivelmente, com a adição dessa receita, a operação se torne viável e mais atrativa para investidores;
- Recomenda-se o estudo de sistemas de geração e transporte de biomassa proveniente dos tocos e raízes;
- Não foram quantificados os reais impactos no solo. Recomenda-se que nas áreas de teste sejam quantificados possíveis impactos, positivos e negativos, na estrutura física, química e na microbiologia do solo;
- Recomenda-se o estudo dos impactos da remoção de tocos nas operações subsequentes como, por exemplo, a subsolagem e fertilização.

8 ANÁLISE CRÍTICA DO DESENVOLVIMENTO DO TCC

9 AVALIAÇÃO DO ORIENTADOR

Assinatura

Willian Schwegler Wiese

Assinatura

Ricardo Anselmo Malinovski

REFERÊNCIAS

- BALLONI, E.A.; SIMOES, J.W. **O espaçamento de plantio e suas implicações silviculturais**. IPEF, Piracicaba, 1(3): 1-16, 1980.
- BATISTUZZO, G. Z. B.; HAKAMADA, R. E.; JUNIOR, E. P. **Desenvolvimentos e desafios para a mecanização e automação das atividades silviculturais**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, n.38, 2013
- BENIN, C.C. **Efeito do espaçamento na produção, variáveis dendrométricas e propriedades da madeira de *Eucalyptus benthamii***. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Estadual do Centro Oeste, Irati, PR. 2014, 94p.
- BERG, S. **Technology and systems for stump harvesting with low ground disturbance**. Diss. (sammanfattning/summary) Umeå: Sveriges lantbruksuniv, Acta Universitatis agriculturae Sueciae, 1652-6880; 2014:95. 2014.
- BORTOLAS, E.P.; STAHL, J.; MINATEL, R. **Preparo de solo em reforma de reflorestamento de Pinus e Eucalyptus com idade superior a 20 anos**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, n.38, 2013.
- CANTO, J. L. **Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia**. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. 127 p.
- CASSELLI, V. **Remoção de tocos de eucalipto com sistema de serra tubular**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Recursos Florestais, Universidade de São Paulo- Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 2013.111p.
- COUTO, H. T.; BRITO, J. O. **Inventário de resíduos florestais**. IPEF, Piracicaba, v. 1, n. 2, p. A.1-A.13, jul. 1980.
- CURTI, L.S.P.; COSTA, M. **Desenvolvimentos e desafios da mecanização e da automação na CENIBRA**. Série Técnica IPEF, Piracicaba, n.38, 2013.
- DISSMEYER, G.E.; FOSTER, G.R. **Modifying the universal soil loss equation for forest land**. In: S.A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer and A. Lo eds. *Soil erosion and conservation*. Soil Conservation Society of America, Ankeny, Iowa.). pp. 480–495. 1985
- ERIKSSON, L.N. **Forest-fuel systems – comparative analyses in a life cycle perspective**. Ph.D. thesis. Mid Sweden University, Östersund. 2008
- FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATION – FAO. **Energy conservation in the mechanical forest industries**. Roma: FAO, 1990. 130 p. (FAO Forestry Paper, n. 93).

FOOD AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATION – FAO.

Sustainable Forest Management (SFM) Toolbox. FAO, 2015. Disponível em: <<http://www.fao.org/sustainable-forest-management/toolbox/modules/silviculture-in-natural-forests/basic-knowledge/en/>> Acesso em: 04/09/2015

FOREST RESEARCH. **Stump harvesting: interim guidance on site selection and good practice.** Forest Research, Farnham. 2009.

GIBBS, J.N., GREIG, B.J.W. and PRATT, J.E. **Fomes root rot in Thetford Forest, East Anglia: past, present and future.** Forestry 75, 191–202. 2002

GONÇALVES, J. L. M.; STAPE, J. L.; LACLAU, J - P. ; BOUILLET, J - P. ; RANGER, J. **Assessing the effects of early silvicultural management on long-term site productivity of fast-growing eucalypt plantations: the Brazilian experience.** Southern Forests, Menlo Park, v. 70, p. 105-118, 2008.

HAKKILA, P.; AARNIALA, M. **Stumps – an unutilised reserve.** Disponível em: <www.tekes.fi/eng/publications/kannotengl1.pdf> Acesso em: 04/09/2015

HAKKILA, P. **Mechanized Harvesting of Stumps and Roots: A Sub-project of the Joint Nordic Research Programme for the Utilization of Logging Residues.** Helsinki: Finnish Forest Research Institute. 1972.

HOPE, G.D. **Changes in soil properties, tree growth, and nutrition over a period of 10 years after stump removal and scarification on moderately coarse soils in interior British Columbia.** Forest Ecology and Management 242, 625–635.2007.

IPEF- Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. **Anais da 45ª Reunião Técnico-Científica do Programa Temático de Silvicultura e Manejo.** Série Técnica IPEF, Piracicaba, n.38, 2013

IBA – INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Anuário estatístico da indústria brasileira de árvores: ano base 2014.** Brasília: IBA, 2014. 64 p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em 12/10/2015.

JACOVINE, L.A.G. **Gestão da qualidade na colheita de madeira em povoamentos equiâneos.** Viçosa: UFV, 2000. Tese (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2000.136 p.

KÄRHÄ, K. **Comparison of Two Stump-Lifting Heads in Final Felling Norway Spruce Stand.** Silva Fennica, 46(4), pp. 625-640. 2012

LARSSON, J.; HALLMAN, R. **Equipment for reforestation and timber stand improvement.** Forest Service. Equipment development center. Missoula. 1980.

LIMA, R.; INOUE, M. T.; FIGUEIREDO FILHO, A.; ARAÚJO, J.A; MACHADO; S. A. **Efeito do espaçamento no desenvolvimento volumétrico do *Pinus taeda* L.** Floresta e Ambiente 20(2):223-230. 2013

MACHADO, C. C. **O setor florestal brasileiro** In: MACHADO, C.C (Ed). Colheita florestal. Vicosa, MG: UFV, Imprensa Univesitária, 2002, 468 p.

MICHAELIS. **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. Disponível em: <<http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php>>. Acesso em: 10 de outubro de 2015.

MOFFAT, A.J., JONES, W.M. and MASON, W.L **Managing brash on conifer clearfell sites**. Forestry Commission Practice Note (FCRN013). Forestry Commission, Edinburgh. 2006.

MORO, L.; COMINATO JUNIOR, J. L.; COLLI JUNIOR, G.; CANEVA, R. A. **Rebaixamento de tocos de eucaliptos**. Piracicaba: IPEF. 3 p. (IPEF. Circular técnica, 165). 1988.

OLSSON, B. **Soil and Vegetation Changes after Clear-Felling Coniferous Forests: Effects of Varying Removal of Logging Residues**. Report. Department of Ecology and Environmental Research Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden, pp. 25 + 97.1995

PALVIAINEN, M., FINÉR, L., LAIHO, R., SHORHOVA, E., KAPITSA, K. and VANHA-MAJAMAA, I. **Phosphorus and base cation accumulation and release patterns in decomposing Scots pine, Norway spruce and silver birch stumps**. Forest Ecology and Management 260, 1478–1489. 2010.

PITMAN, R.M. **Wood ash use in forestry – a review of the environmental impacts**. Forestry 79, 563–588.2006.

REPO, A.; KANKANEN, R.; TUOVINEN, J.P.; ANTIKAINEN, R.; TUOMI, M.; VANHALA, P.; LISKI, J. **Forest bioenergy climate impact can be improved by allocating forest residue removal**. Global Change Biology Bioenergy, 4(2), pp. 202-212. 2012.

REYNOLDS, B. **Implications of changing from grazed or semi-natural vegetation to forestry for carbon stores and fluxes in upland organo-mineral soils in the UK**. Hydrology and Earth System Sciences 11, 61–76.2007.

RICHARDSON, J.; BJÖRHEDEN, R.; HAKKILA, P.; LOWE, A.T.; SMITH, C.T. **Bioenergy from Sustainable Forestry: Guiding Principles and Practices**. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands. 2002

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO (SFB). **Florestas do Brasil em resumo 2013**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. 186 p. 2013. Disponível em: <<http://www.florestal.gov.br/publicacoes/tecnico-cientifico/florestas-do-brasil-em-resumo-2013>>. Acesso em: 04/09/2015

STAAF, H. and OLSSON, B.A. **Effects of slash removal and stump harvesting on soil water chemistry in a clearcutting in SW Sweden.** Scandinavian Journal of Forest Research 9, 305–310.1994

VASAITIS, R., STENLID, J., THOMSEN, I.M., BARKLUND, P.; DAHLBERG, A. **Stump removal to control root rot in forest stands. A literature review.** Silva Fennica 42, 457–483. 2008.

WALMSLEY, J.D; GODBOLD, D.L. **Stump harvesting for Bioenergy- A review of the Environmental Impacts.** Forestry, Bangor. Vol. 83, n.1, p.1- 22, 2010.