

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARCELO CHIABAI BENTO

SISTEMA DE COLHEITA ALTERNATIVO PARA PRODUÇÃO DE MADEIRA SEM
CASCA DESTINADA A PROCESSO DE CELULOSE DE EUCALIPTO



CURITIBA
2017

MARCELO CHIABAI BENTO

SISTEMA DE COLHEITA ALTERNATIVO PARA PRODUÇÃO DE MADEIRA SEM
CASCA DESTINADA A PROCESSO DE CELULOSE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão Florestal no Curso de Pós-Graduação em Gestão Florestal do Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como pré-requisito para obtenção do título de especialista.

Orientador: Prof. Renato Cesar Gonçalves Robert

CURITIBA
2017

*À minha esposa, Camilla, e filha, Bárbara, que foram grandes incentivadoras e
inspiração para que nunca desistisse dos meus sonhos e acreditasse
no caminho da sabedoria e do desenvolvimento pessoal.*

AGRADECIMENTOS

Aos professores e tutores do curso de pós-graduação em Gestão Florestal da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade, ensinamento, acompanhamento e dedicação aos alunos.

À empresa Sotreq S/A, da qual faço parte nos meus últimos 16 anos profissionais, dos quais últimos 10 dedicados ao mercado florestal, por permitir meu desenvolvimento profissional e a utilização dos dados para análises vitais à conclusão deste trabalho.

Aos meus companheiros de empresa Iracildo Junior, Marcos Lima, Hideraldo Cordeiro, Marcos Rangel, Lindomar Boaventura e outros que participaram e contribuíram diretamente para a realização e construção deste projeto e com quem partilho esta conquista.

Ao companheiro Jose Carlos Rocha Filho, pela oportunidade de transferir seus conhecimentos, fazer evoluir minhas capacidades de analisar o tema, fornecendo informações vitais para a construção do presente trabalho.

A toda minha família, em especial a meus pais, Ana Helena e Antônio Bento, pelo suporte nos momentos difíceis durante a caminhada longa do curso e de construção deste trabalho.

Agradecimento especial ao Prof. Renato Cesar Gonçalves Robert, pela orientação e todo suporte no trabalho e conclusão deste projeto,

A todos, o meu muito obrigado!

RESUMO

O Brasil ocupa atualmente posição de destaque na liderança mundial do ranking de produtividade de celulose. Porém, mesmo com condições naturais muito favoráveis e imutáveis perante seus concorrentes, tem sido desafiado a manter essa liderança com a rentabilidade elevada esperada, mediante eventos mercadológicos recentes. Incertezas constantes enfrentadas na economia brasileira desde 2015, tem gerado uma conjuntura que se mostra desafiadora no mercado florestal de produção e comercialização de celulose. Uma taxa de inflação acima dos 10%, a perda do selo de bom pagador em agências de risco, um PIB em retração, somado a um cenário com esperado incremento de oferta, ameaçam os preços de vendas atuais no mercado da *commoditie*. Desta forma se desenha um cenário futuro de grande competitividade e desafios na conjuntura econômica, no qual as empresas veem sendo desafiadas a melhorar seus processos e incrementar sua produtividade, ou seja, reais gastos por tonelada produzida. Para tal, várias ações têm sido iniciadas, como a evolução ainda mais profunda de materiais genéticos, passando por mecanização de sistemas de plantio e manejo ainda mais sustentáveis, até chegar a fábricas mais eficientes e produtos que tenham maiores valores agregados. Na produção de celulose de eucalipto, o processo de produção de toras de madeira sem casca tem impacto significativo no custo final da celulose, o que impulsiona um debate importante sobre os sistemas de colheita atuais. Soluções antes aparentemente consolidadas e com níveis de tecnologia estabelecidos como o sistema *cut-to-length* começam a ser questionados e até reinventados, mesclando características fundamentais com novas tecnologias ou até com sistemas antes improváveis de serem utilizados como o *tree-length* e o *full-tree*. Nesse cenário de desafio, entendendo que uma mudança dos meios de produção e em especial dos sistemas de colheita para produção de madeira sem casca para celulose é fundamental para atingimento das novas metas de competitividade estabelecidas, este trabalho se propõe a idealizar um sistema de colheita florestal alternativo ao tradicional estabelecido, avaliando sua capacidade teórica de contribuir para a redução dos custos de produção de celulose atendendo as rigorosas exigências do processo produtivo.

Palavras-chave: Mercado de celulose. Sistemas de colheita florestal. Custos de colheita. Manutenção de rentabilidade.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxo macro A: <i>feller buncher</i> no processo de derrubada; B: <i>skidder</i> no arraste; C: <i>harvester</i> desgalhando e descascando; D: <i>slasher</i> mesa traçadora finalizando o processo.....	38
Figura 2 – Esquema simplificado da operação do sistema.....	39
Figura 3 – Distribuição do processamento e traçamento.....	40
Figura 4 – Dinâmica de atuação do <i>feller buncher</i> e <i>skidder</i> de rodas.....	40
Figura 5 – Operação do <i>skidder</i> de rodas formando pilhas para atuação dos <i>harvesters</i>	41
Figura 6 – Dinâmica de atuação das escavadeiras com processadores <i>harvester</i>	41
Figura 7 – Posicionamento dos <i>harvester</i> no desgalhamento e descascamento da madeira, e preparação de pilhas para o <i>slasher</i>	42
Figura 8 – Composição de 1 (um) módulo do sistema proposto.....	42

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Fatores de contribuição dos principais componentes.....	35
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores médios de mercado coletados e custos estimado de colheita com depreciação para o sistema <i>cut-to-length</i>	34
Tabela 2 – Custos estimado de colheita com depreciação para o sistema alternativo.....	43

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1	SISTEMAS DE COLHEITA FLORESTAL.....	14
3.2	SISTEMAS <i>TREE-LENGTH</i> & <i>FULL-TREE</i>	16
3.2.1	<i>Feller buncher</i>	16
3.2.2	<i>Skidder</i>	18
3.2.3	Garra traçadora e <i>slasher</i>	19
3.3	SISTEMAS <i>CUT-TO-LENGTH</i>	20
3.3.1	<i>Harvester</i>	20
3.3.2	<i>Forwarder</i>	22
3.4	CUSTOS OPERACIONAIS DO SISTEMAS <i>CUT-TO-LENGTH</i>	23
3.4.1	Custo de peça para manutenção.....	23
3.4.2	Parcela de pagamento dos equipamentos.....	25
3.4.3	Estrutura de operação e manutenção.....	25
3.4.4	Combustível (diesel).....	27
3.4.5	Salário médio dos operadores.....	28
3.5	EXIGÊNCIAS DA MADEIRA SEM CASCA PARA CELULOSE.....	29
3.5.1	Desgalhamento e descascamento.....	29
3.5.2	Comprimento da tora.....	30
4	MATERIAIS E MÉTODOS	32
4.1	REDUÇÃO DO CUSTO DE PRODUÇÃO EM R\$/m ³	32
4.2	COMPOSIÇÃO E EXIGÊNCIAS DE QUALIDADE.....	33

5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
5.1	COMPONENTES DOS CUSTOS NO SISTEMA <i>CUT-TO-LENGTH</i>	34
5.2	SISTEMA ALTERNATIVO DE COLHEITA.....	37
5.3	CUSTO OPERACIONAL DO SISTEMA ALTERNATIVO.....	43
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
7	RECOMENDAÇÕES	46
	REFERÊNCIAS	48

1 INTRODUÇÃO

A atividade florestal é um dos mais promissores segmentos da economia em diversos países, considerando-se que a produção madeireira é a condição básica para o desenvolvimento de importantes indústrias na área de siderurgia, de movelaria, de construção civil, de setores diversos e, principalmente, o de papel e celulose (SOBRINHO, 1995). O crescimento de economias emergentes e a tendência de evolução do poder aquisitivo da classe média criaram um comportamento irreversível por parte da população desses países, gerando aumento no consumo de produtos de higiene, embalagens e outros que contêm a celulose como base de sua produção. O Brasil está entre os maiores produtores de celulose do mundo, ficando no topo do ranking de produtividade com o menor ciclo de colheita do eucalipto, com cerca de sete anos, sendo apenas uma área florestal de 140 mil hectares necessária para a produção de 1,5 milhão de toneladas de celulose por ano. Isso representa um quinto da área necessária na Escandinávia, por exemplo, para produção do mesmo montante.

Apesar das condições naturais favoráveis gerando ciclos de produção mais curtos, existem conjunturas mercadológicas que podem ameaçar principalmente a lucratividade do negócio da celulose brasileiro no longo prazo. Cada vez mais caracterizada como uma *commoditie*, a celulose vive um momento de real elevação de disponibilidade, basicamente devido a um incremento da capacidade de produção principalmente em fibra curta, consequência de ampliações e novos projetos de celulose no Brasil e no mundo. Com ofertas elevadas acima das expectativas de crescimento da demanda, espera-se que os preços comercializados em nível mundial tendam a baixar nos próximos anos.

Análise realizada recentemente identificou que, em 2017, o mercado de fibra longa inseriu aproximadamente 595 mil e o de fibra curta 5,4 milhões de toneladas adicionais ao mercado. Entre os próximos projetos em negociação para ampliação de suas capacidades produtivas, estão: Suzano; Eldorado; Arauco; Stora Enso; e CMPC. Essas expansões elevarão a produção atual de fibra curta de eucalipto de um patamar de aproximadamente 18 milhões de toneladas em 2016 para 23,5 milhões de toneladas em 2019, com a entrada dos novos projetos nos próximos três anos (TISSUE ONLINE; 2017). Em suma, se as expectativas se concretizarem, a capacidade subiria 30%, gerando certo receio no mercado, especialmente quando se considera que a capacidade cresceria a uma média de 3,1%, em 2017, enquanto a demanda no mesmo período se elevaria a uma média de

apenas 2,1%. Existe ainda uma expectativa em nível global de aumento de oferta, com base em registros históricos, (anuário IBA; 2016), estimada para celulose de fibra curta entre 700 mil e 800 mil toneladas, sendo os especialistas unânimes em argumentar que, dado o novo cenário, o principal desafio futuro para as empresas será melhorar a eficiência, a fim de manter o custo de produção e rentabilidade equilibrado perante um cenário de preços em queda.

No processo produtivo da celulose de eucalipto no Brasil, observa-se que a colheita florestal tem papel econômico e estratégico fundamental na lucratividade e rentabilidade no longo prazo. Segundo Machado (1989), a exploração e o transporte em uma colheita florestal representam aproximadamente 50% ou mais do total dos custos finais da madeira posta na indústria, e ainda tem relação direta a altos riscos de perdas devido à atividade (DUARTE, 1994), estimando-se atualmente que aproximadamente 45% dos custos de produção de celulose de eucalipto são oriundos da cadeia de produção de toras de madeira descascada que alimentam a fábrica (DEPEC BRADESCO; 2016). As altas exigências quanto a qualidade da madeira descascada colhida e entregue a fábrica quanto a comprimento e descascamento principalmente, demandam atualmente sistemas com custos elevados de produção, sendo este um dos fatores preponderantes desta elevada participação nos custos finais.

Perante uma modernização e exigência mais rigorosas fabris no processo de produção de celulose de eucalipto, e em um momento de abertura do mercado as importações na década de 1990, intensificaram-se então o uso de máquinas na colheita florestal, propiciando ganhos significativos em termos de produtividade, qualidade, e ainda redução do índice de acidentes, importante para certificações internacionais, dentre outros (MACHADO, 2002). Nesse período, e ainda hoje, o principal sistema de colheita utilizado nos países escandinavos é o *cut-to-length*, tendo sua origem no manejo e condução das florestas europeias e apresentando a possibilidade de trazer a madeira processada e descascada com alta qualidade exigida do interior da florestal diretamente para as laterais das estradas. O sistema se consolidou com o passar dos anos no Brasil, sendo o mais antigo sistema de colheita empregado na colheita de madeira para a produção de celulose de eucalipto devido a sua qualidade de produto final e uma ausência de outros sistemas disponíveis que produzissem madeira sem cascas com a mesma qualidade.

Todavia, o sistema *cut-to-length* tem apresentado supostos esgotamentos quanto às possibilidades de evolução visando ganhos de produtividade e menores custos

produtivos envolvidos. Com isso um sistema antes consolidado, começa a ser questionando e alternativas passam então a ser buscadas e mais profundamente debatidas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAL

Idealizar tecnicamente e avaliar economicamente um sistema alternativo de colheita para madeira sem casca destinada à produção de celulose, verificando sua produtividade e custos associados.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Analisar os principais componentes dos custos no sistema atual *cut-to-length* e principais motivos pelos elevados custos de produção de madeira se casca.
- b) Idealizar um sistema alternativo de colheita de madeira sem casca para produção de celulose, comparando seu potencial de custo de produção teórico, com o apresentado pelo atual sistema atual.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 SISTEMAS DE COLHEITA FLORESTAL

De acordo com Machado (2002), a colheita florestal é definida como um conjunto de operações realizadas no maciço florestal que visa preparar e extrair a madeira até o local de transporte, utilizando técnicas e padrões preestabelecidos, com a finalidade de transformá-la em produto final. A colheita inicialmente compõe-se das atividades de colheita, extração, carga (carregamento) e logística de transporte (transporte e o descarregamento na fábrica), que pode representar até 50% dos custos finais da madeira posto na indústria. Essa representatividade comprova a importância de seu estudo dentro da cadeia produtiva dos produtos madeireiros.

Existem vários sistemas de colheita e processamento de madeira no campo, os quais variam em função de um conjunto de fatores condicionantes estabelecidos, como a espécie florestal, idade do povoamento, finalidade a que se destina o produto, condições gerais da área de colheita, entre outros. Em resumo, a definição do sistema de colheita e processamento a ser utilizado será uma combinação dessas condicionantes (SILVA et al., 2003; SIMÕES et al., 2010), por exemplo, as exigências da matéria-prima para as indústrias de celulose.

Teoricamente, sistemas de colheita podem ser conceituados como um conjunto de atividades integradas que permitem o fluxo constante de madeira (MACHADO, 2002). Dessa forma, esses sistemas podem receber classificações distintas, como propõe Malinovski et al. (2006a), baseando-se no comprimento das toras e na forma como são extraídas até o local de processamento. Desta forma são apresentados os sistemas de colheita a seguir:

- a) sistema de toras curtas (*cut-to-length*): processamento da árvore no local de derrubada, com baldeio para a margem da estrada ou para o pátio temporário em forma de pequenas toras, com menos de seis metros de comprimento;
- b) sistema de toras longas (*tree-length*): semiprocessamento da árvore, geralmente desgalhada e destopada no local de derrubada e baldeada para a margem da estrada ou ao pátio temporário em forma de fuste, com mais de seis metros de comprimento;

- c) sistema de árvores inteiras (*full-tree*): derrubada e baldeada da árvore para a margem da estrada ou para o pátio de processamento, onde é processada;
- d) sistema de árvores completas (*whole-tree*): a árvore é arrancada com parte de seu sistema radicular e baldeada para a margem da estrada ou para o pátio temporário, onde é processada;
- e) sistema de cavaqueamento (*chipping*): a árvore é derrubada e processada no próprio local, sendo transportada em forma de cavacos para um pátio de estocagem ou diretamente para a indústria.

De forma distinta, porém complementar, Uusitalo (2010) determina quatro diferentes métodos de colheita: toras curtas, árvores inteiras, toras longas e cavaqueamento, caracterizando-os basicamente pelo modo em que a madeira chega à beira da estrada, sendo sua denominação final baseada na combinação de equipamentos, ferramentas, pessoas, animais e outros (UUSITALO, 2010). Portanto, nessa forma de conceituação de sistema de colheita, a extração pode influenciar o sistema de colheita e não o método, em que o processo de extração da madeira em toras até a beira da estrada é considerado um método de toras curtas, enquanto que o uso de um *harvester* e um *forwarder* é considerado um sistema de toras curtas, por exemplo. De acordo com Uusitalo (2010), temos, então, os seguintes sistemas de colheita:

- a) sistema nórdico de colheita de toras curtas mecanizado;
- b) sistema de toras curtas semimecanizado;
- c) sistema de colheita a cabo;
- d) sistema de colheita convencional de árvores inteiras: *feller-buncher*, *skidder* de garra e processador;
- e) sistema de colheita com máquina base escavadeira e cabeçote *harvester*;
- f) sistema de colheita *Shovel*;
- g) sistema de derrubada semimecanizada e extração por *skidder* de cabo;
- h) sistema de derrubada semimecanizada e extração animal ou por trator de esteiras *Bulldozer*.

Hoje, no Brasil, de forma geral, as grandes empresas com colheita mecanizada utilizam dois sistemas que, dentro da teoria apresentada, podem ser classificados como sistema de colheita convencional de árvores inteiras: *feller-buncher*, *skidder* de garra e processador e sistema de colheita com máquina base escavadeira e cabeçote

harvester, segundo Uusitalo (2010), ou ainda sistema de árvores inteiras (*full-tree*) e sistema de toras curtas (*cut-to-length*), segundo Malinovski et al. (2006a). Especificamente no mercado de celulose, devido às suas demandas de produto final, o sistema *cut-to-length* tem maior abrangência e utilização que o *full-tree*.

3.2 SISTEMAS *TREE-LENGTH* & *FULL-TREE*

O sistema *tree-length* é muito utilizado, desde terrenos acidentados até terrenos completamente planos. Este sistema tem sua origem nos países norte-americanos, onde cerca de 90% de toda a colheita de madeira até o ano de 1996 era realizada por esse sistema (MACHADO, 2008). Algumas das principais justificativas da utilização desse sistema de colheita de madeira é que quando comparado com o sistema *cut-to-length* este possui um menor custo por tonelada de madeira posta no pátio. O sistema *full-tree* utilização desse sistema de colheita de madeira implica na remoção da árvore de uma forma inteira, mas sem as raízes, como operação posterior ao corte da árvore. As demais atividades, como o processamento da madeira são realizadas nas laterais do talhão. Machado (2008) cita que neste sistema a árvore é cortada, derrubada e levada até as laterais das estradas onde será processada.

As vantagens destes dois sistemas são bem similares, e focadas em seus custos produtos, assim como similares são os produtos utilizados pelos mesmos. Característica importante dentro dos estudos no mercado de celulose de eucalipto é a incapacidade destes dois sistemas produzirem madeira sem casca em suas formas tradicionais, não possuindo equipamentos de descascamento e por esse motivo não são tradicionalmente utilizados.

3.2.1 *Feller buncher*

Para Machado (2008), o *feller buncher* (derrubador-acumulador) é a máquina que desempenha a atividade de corte, acúmulo (o número de árvores acumuladas varia de acordo com o porte de cabeçote de corte e de acordo com o diâmetro das árvores) e, posteriormente, tombamento das árvores, formando feixes. O cabeçote de corte do *feller buncher* é a principal ferramenta do equipamento, pois é esse que realizará todas as atividades desempenhadas pela máquina. Seus componentes

básicos são: uma ferramenta de corte e braços acumuladores, todos acionados por sistemas hidráulicos. Os implementos utilizados no corte podem ser de três tipos: sabre, tesoura de dupla ação ou disco de corte dentado.

De acordo com Lopes (2007), o procedimento de corte pelo *feller buncher* inicia-se com o posicionamento do cabeçote de corte com os braços abertos em direção à árvore a ser cortada e, em seguida, o disco de corte (em altíssima rotação) realiza o corte da árvore ao nível do solo. Após o corte, é acionado o braço acumulador do cabeçote, firmando a árvore no cabeçote, reabrindo os outros braços para realizar o corte de uma segunda árvore. Esse processo se repete até que o cabeçote alcance sua capacidade máxima de acumulação. Em seguida, a máquina se move, com o feixe de árvores na vertical, e depois ele é depositado no solo.

O *feller buncher* está disponível no mercado nas versões de esteiras ou de rodas. A versão de rodas é composta por dois eixos motrizes, com chassi articulado e com quatro pneus, que podem ser duplicados para operações em terrenos sensíveis sendo esta versão mais indicada para operações em terrenos planos e para o trabalho, em sua maioria, com árvores de pequeno e médio porte. Geralmente, são máquinas que variam sua potência de 129 kW a 181 kW, com peso operacional, variando de 11 a 16 toneladas. Já a versão de esteiras pode operar em qualquer tipo de terreno, inclusive em terrenos sensíveis, pantanosos e inclinados. O mercado dispõe de modelos de pequeno, médio e grande porte, variando sua potência de 180 kW a 246 kW e peso operacional entre 22 e 38 toneladas. Alguns modelos possuem nivelamento da cabine, o que permite ao operador uma melhor visibilidade em operações de corte em terrenos com inclinação de até 50%. Esse tipo de equipamento é recomendado para florestas de pequeno, médio e grande porte (MACHADO, 2008).

Existem ainda adaptações para menores rendimentos em carregadeiras pequenas e ainda um modelo exclusivo da fabricante Caterpillar, em que o cabeçote de corte pode ser instalado em uma escavadeira florestal, no caso a 320DFM, com arranjo hidráulico para receber cabeçotes de corte *feller buncher*, para demandas de menores volumes e produtividade desejada mais elevada que os de pneus.

3.2.2 Skidder

O *skidder* surgiu para o mercado como uma máquina para a atividade florestal na década de 1960, sendo considerado um veículo versátil e forte, fácil de operar e econômico. Os *skidders* são máquina projetada para operar no sistema de toras compridas, executa o arraste dos feixes de árvores ou de toras da área de corte, até a margem da estrada.

Sua robustez e facilidade de manutenção e capacidade de trabalhar com uma ampla margem de tamanhos de árvores são algumas das outras razões de sua popularidade na América do Norte (SEIXAS 2008). De acordo com Machado et al. (2008), o *skidder* é um trator florestal articulado com tração 4 x 4, 6 x 6 e até 8 x 8, desenvolvido exclusivamente para o arraste de árvores. Também existem modelos projetados e construídos sobre esteiras.

Para Machado et al. (2008), a principal ferramenta de trabalho dos *skidders* é uma pinça, também chamada de garra, localizada na sua parte traseira. Ela é acionada hidráulicamente de forma a coletar os feixes de árvores. Primeiramente, a pinça é posicionada próxima aos feixes e, em seguida, ela é aberta, abaixada sobre o feixe, fazendo a coleta e depois sendo fechada e suspensa até uma certa altura.

Machado et al. (2008) cita que na parte frontal a máquina apresenta uma lâmina que auxilia na limpeza de vias de acesso e remoção de algum obstáculo no talhão, entre outros. No mercado, é possível encontrar motores com potência que variam de 96 kW até 300 kW, e o peso variando entre 10 e 38 toneladas. O desempenho operacional dessa máquina é alterado em função da distância de arraste. À medida que aumenta a distância de arraste para um mesmo volume de madeira, seu rendimento diminui.

Existem outras variações de tipos de *skidders*, como: *cable skidders* (máquinas que possuem um guincho e cabos ao invés de pinça) e *clambunk skidders* (máquina montada sobre o chassi de um *forwarder*, composta por uma pinça invertida em sua parte traseira e uma grua responsável pela colocação das árvores), onde *clambunk skidders* podem operar em terrenos com um grau maior de inclinação do que os *skidders*. Para *Forests and Rangelands* (2011), a topografia limita o uso dos *skidders*. É indicado que *skidders* de rodas operem em terrenos de 30% a 40% (40% no caso de *skidders* 6x6 ou 8x8) a favor da inclinação e 10% contra a inclinação. Já os *skidders*

montados sobre esteiras podem operar em terrenos com 50% a favor da inclinação e 15% contra.

3.2.3 Garra traçadora e *slasher*

Garra traçadora e os *slashers* são basicamente variações de um carregador florestal, com o diferencial que esses dois tipos de equipamentos realizam o traçamento (corte) da madeira no tamanho desejado antes de realizar o carregamento nos veículos de transporte.

Na garra traçadora, existe um conjunto de corte montado em sua garra, acionado pelo operador internamente na cabine do equipamento base. De acordo com Machado (2008), o uso desse tipo de equipamento tem se intensificado com a substituição da atividade de traçamento realizado por motosserristas. Ainda de acordo com o mesmo autor, essa máquina trabalha próximo das margens das estradas, coletando os feixes de árvores e realizando o traçamento e formação de pilhas de toras, para posteriormente serem carregadas.

No *slasher*, não há um conjunto de corte instalado na garra, mas há o que se chama de mesa traçadora – uma estrutura de metal onde o carregador, com seu braço e sua garra, move a madeira até essa estrutura, depositando ali várias árvores até que um feixe seja formado. Na sequência, uma serra é acionada, também pelo operador internamente na cabine da máquina base, realizando assim o corte simultâneo de todas as árvores que compõem o feixe.

Ambos os sistemas têm como particularidade a capacidade de traçamento da madeira, porém sem recursos para desganhamento e descascamento. Quanto a precisão dos comprimentos das árvores cortadas observa-se uma maior capacidade de precisão nos *slashers* devido a sua capacidade na mesa de definir comprimento desejado através de um batente mecânico. Nas garras traçadores essa referência de comprimento é realizada através de um padrão e habilidade do operador em respeitá-la.

3.3 SISTEMAS *CUT-TO-LENGTH*

Caracterizado pelo processamento da árvore no próprio local de corte e derrubada, realiza ali as operações de desganhamento, de descascamento (quando houver a necessidade) e desdobramento da árvore em toras com base em comprimentos previamente determinadas. Os comprimentos podem variar de 1 a 7 metros, sendo esse determinado pelas diversas finalidades na indústria, pela capacidade de recebimento da indústria ou mesmo pela dimensão das máquinas de baldeio e dos veículos de transporte. Concluindo, o sistema *cut-to-length* consiste basicamente em cabeçotes processadores *harvester*, equipando normalmente escavadeiras preparadas para operação florestal, acompanhados de equipamentos de baldeio denominados *forwarders*, que transportarão a madeira processada pelo *harvester* para a margem da estrada ou para o pátio temporário (MALINOVSKI et al., 2006a).

O sistema *cut-to-length* apresenta atualmente elevados custos operacionais e ainda disponibiliza restritas alternativas para uma evolução operacionais. De acordo com Burla (2008), na atividade da colheita de madeira com *harvester* existe uma variação da produtividade em função das diferentes condições das florestas, sendo características distintas para cada empresa. Akay et al. (2004) completam essa informação afirmando ainda que o rendimento operacional do *harvester* está muito relacionado ao tamanho da árvore, pois, conforme diminui o volume dessa, diminui também o rendimento operacional.

Mesmo com características adversas, o sistema se mantém como o mais eficiente no processo de produção de madeira sem casca para produção de celulose de eucalipto. Sua capacidade de descascamento ainda é ponto chave para sua utilização e seu domínio neste mercado.

3.3.1 *Harvester*

O *harvester* então é composto, em sua essência, por uma máquina base automotriz, uma lança ou braço mecânico/hidráulico e um implemento (cabeçote) em sua extremidade. Esta máquina pode executar, sequencialmente, as operações de corte da árvore, derrubada, desganhamento, descascamento, traçamento e formação de pilhas de toras. (MACHADO, 2008). Para Rígolo e Baptista (2009), o *harvester* é uma máquina

capaz de operar como cortadora e processadora de árvores. Os mesmos autores ainda comentam que essa máquina é sensível às condições da floresta, pois fatores como tamanho e forma dos troncos, volume, espaçamento entre as árvores, quantidade de galhos, facilidade de remoção da casca e tipo de terreno afetam de forma direta a produtividade dos *harvesters*.

De acordo com *Forests and Rangelands* (2011), o *harvester* é uma máquina automotriz com um implemento denominado cabeçote de corte (ou processador), capaz de cortar e processar árvores. Machado (2008) cita que o sistema de rodados de um *harvester* pode ser sobre pneus ou sobre esteiras. A escolha de um rodado implica no local onde o *harvester* estará operando. Empresas, normalmente, optam pela escolha de *harvester* de esteiras devido ao menor grau de compactação se comparado aos pneus. Outras já optam por pneus para fornecer maior mobilidade e velocidade à máquina.

Os *harvesters* de pneus podem ter de quatro a oito pneus, dependendo da configuração e do modelo. Para *Forests and Rangelands* (2011), os *harvesters* de esteiras são similares aos *feller bunchers*, diferindo um do outro pelo cabeçote processador que o *harvester* possui, ao invés do cabeçote de corte do *feller buncher*. Existem várias marcas e modelos, que vão desde máquinas compactas e pequenas, que possuem motor com menos de 100 kW de potência, até modelos de grande porte, com 224 kW de potência e peso operacional de 46 toneladas, para operações com árvores de grande porte. Sua operação limita-se pela topografia em muitos casos, em que os *harvesters* de esteiras podem trabalhar em terrenos com até 50% de declividade. Os *harvesters* articulados de pneus geralmente são indicados para operações com até 40% de declividade, podendo utilizar acessórios (esteiras removíveis ou correntes) para recobrir os pneus. Alguns modelos com chassi articulado e sistema de esteiras independentes (por exemplo, o Komatsu 911.5 X3M Extreme mostrado) podem operar em terrenos com até 80% de declividade. O implemento do *harvester*, também conhecido como “cabeçote de *harvester*”, é encontrado em vários tamanhos e modelos, baseado principalmente no diâmetro máximo de corte, diâmetro máximo de desgalhamento, peso e em qual tipo de árvore ele irá trabalhar, pois atualmente existem alguns cabeçotes específicos para coníferas, folhosas e quando há necessidade de descascamento.

Nas diversas variações do sistema *cut-to-length*, o cabeçote processador *harvester* é o principal equipamento utilizado, utilizado para desenvolver as atividades de corte,

derrubada e processamento da madeira, que consiste no desgalhamento descascamento (em alguns casos) e corte das árvores em toras/toretos com medidas de comprimento pré-determinadas, deixando essas toras/toretos agrupadas para serem retiradas na operação seguinte. Seu tamanho e capacidades determinados principalmente pelas condições da floresta, diâmetro máximo de corte, diâmetro máximo de desgalhamento, peso e até por qual tipo de árvore será processada. O protagonismo do cabeçote processador *harvester* é tamanho dentro do sistema que determina as condições da máquina base automotriz quanto a exigências técnicas mecânicas, com vazão disponível e recursos eletrônicos, até formas de sua construção, exigindo que essa esteja sobre pneus ou esteiras, dependendo do terreno, declividade ou até clima. Hoje, no mercado brasileiro, os produtores florestais podem encontrar diversos modelos e marcas de *harvesters*. Entre os mais utilizados, pode-se citar as máquinas base automotriz utilizadas o 1270D/E, da John Deere, o Komatsu 941.1 e a PC200F, a Caterpillar 320D FM, PONSSE Ergo e os Tigercat H845C e H855C. Entre os cabeçotes processadores, temos os mais presentes no mercado o Komatsu 370E, a linha Waratah (John Deere), o H77Euca PONSSE e a linha LogMax, hoje uma empresa do grupo Komatsu Forest.

3.3.2 Forwarder

De acordo com Machado (2008), originalmente fabricados no Canadá e aprimorados na Escandinávia, os *forwarders* são máquinas, em sua maioria, articuladas, com suspensão da plataforma de carga sobre o chassi traseiro e capacidade de carga variando de 5.000 a 22.000 kg e potência que varia de 95 kW a 14 205 kW, além de uma grua hidráulica usada no carregamento e descarregamento da própria máquina. Essa máquina foi projetada para a extração de madeira da área de corte para a margem da estrada ou pátio intermediário, sendo o par perfeito dos *harvesters* no sistema *cut-to-length* e responsável pela remoção das toras, deslocando-se sobre a camada de resíduos (galhos, cascas e folhas) deixadas pelo *harvester*, durante a operação de processamento, e ainda a possível utilização nas operações de desbastes. Tem sua eficiência no transporte em distâncias percorridas maiores que 200 metros ou inferiores a 300 metros, sendo que a distância fora dessa faixa acarretará em perda da eficiência do equipamento (SEIXAS, 1987; SOUZA et al., 1988 apud MACHADO, 2008). Os *forwarders* foram uma importante evolução na forma de extrair madeira por conseguirem trabalhar em distâncias

mais longas devido à sua grande capacidade de carga e mobilidade em terrenos de diversas dificuldades. São ideais também para operações de desbaste, pois conseguem trafegar com facilidade entre as árvores remanescentes e causam menos danos às árvores e ao solo, trafegando sobre a camada de resíduo deixado pelo *harvester*. Entre os modelos e marcas de *forwarders* mais encontrados em operação nas florestas plantadas do Brasil, estão: o Komatsu 890, John Deere 1710D e 1910E, o PONSSE Buffalo e Elephant King e Tigercat 1075B e o Caterpillar 584.

3.4 CUSTOS OPERACIONAIS DO SISTEMA *CUT-TO-LENGTH*

Uma das principais características adversas do sistema *cut-to-length* são seus custos operacional total elevado. Os principais fatores que compõem estes custos são os custos segundo clientes produtores de celulose de eucalipto são os valores investidos em peças para manutenção dos equipamentos, investimentos realizados para compra dos equipamentos que geram parcelas de pagamentos elevados (CAPEX), uma estrutura de manutenção robusta demandada para manutenção das elevadas exigências de disponibilidade mecânica dos equipamentos, consumo de diesel e ainda investimentos em pessoal principalmente os operadores dos equipamentos.

3.4.1 Custo de peças para manutenção

Observa-se na prática que a componente “custo de peças para manutenção” tem sua causa raiz na dinâmica de operação dos cabeçotes processadores *harvesters* principalmente. Em geral, os cabeçotes processadores sofrem com sua alta demanda de produção sob duras condições de derrubada e operações subsequentes de processamento dentro da floresta. Os principais pontos de manutenção ocorrem em partes hidráulicas móveis, em sua eletrônica embarcada avançada, e, mesmo dimensionados para condições severas, sofrem com a operação ao qual são expostos. Seus componentes hidráulicos, além do complexo funcionamento, possuem alta demanda por precisão em condições de fluxos e temperaturas de trabalho elevadas. Observa-se ainda que as estruturas dos cabeçotes processadores recebem impactos e esforços cíclicos durante as derrubadas e os processamentos. Também há risco de queda de

objetos e constantes condições extremas de arrefecimento fornecidas pelo equipamento motriz.

As escavadeiras florestais, equipamentos base e motriz dos cabeçotes processadores *harvester* também contribuem de forma crítica para a composição do custo horário de peças para manutenção. Os longos e contínuos deslocamento do equipamento dentro da floresta para executar as atividades múltiplas geram desgastes acentuados dos materiais rodantes. Riscos de queda de objetos e condições de arrefecimento também são críticos e incrementam as demandas por manutenção dos equipamentos.

É sabido que, no Brasil, por condições econômicas e de mercado, as escavadeiras florestais são preparadas em alguns aspectos para receber ferramentas florestais e desempenhar operações como a com cabeçotes processadores *harvester*, e, como já citado, alguns aspectos foram realmente modificados e preparados para operação florestal. Porém, a concepção de um equipamento que não tinha função de grande deslocamento persiste, sendo essa uma questão complexa de ser alterada, mantendo a versatilidade de mercados da escavadeira.

Fabricantes estimam que entre 60 a 65% dos custos de peças durante a vida útil de um equipamento estão relacionados ao custo de seu sistema de rodantes. Uma adequação das escavadeiras para operações florestais para minimizar impactos de paradas e desgastes prematuros nos sistemas de rodante foi a definição de utilização de sistemas *heavy duty*, com maior durabilidade, porém com maiores investimentos iniciais nos equipamentos. Além do movimento de deslocamento contínuo de uma escavadeira gerar consumo elevado de sistemas de deslocamento, as escavadeiras ainda possuem uma característica pouco atentada por muitos: um consumo de combustível idêntico para se deslocar do utilizado para processar uma árvore.

Outra concepção de engenharia a ser analisada nas escavadeiras é quanto ao seu sistema hidráulico, que, submetido a grandes demandas de fluxo hidráulico e arrefecimento, proveniente de geração de calor nas partes móveis do cabeçote processador *harvester* principalmente, tem manutenção constante de componentes de seu sistema, seja em suas vedações ou desgaste de partes móveis. Essas condições operacionais e de funcionamento geram também presença constante de contaminantes, que em sistemas hidráulicos cada vez mais modernos e com tolerâncias menores são extremamente prejudiciais e causam raiz de necessidades de manutenção. Partes

estruturais, motores diesel e outros sistemas também demandam alto custo de peças para manutenção devido às condições operacionais do sistema *cut-to-length*.

3.4.2 Parcela de pagamento dos equipamentos

Essa componente do custo, além de fixo, independe de ritmo operacional e das condições objetivas de produção dos volumes planejados. É possível observar a influência por exemplo do *forwarder* perante o conjunto do *harvester* devido à sua origem importada, com impostos e custos de capital elevados. Existem linhas de incentivo à aquisição de produtos de colheita florestal, porém são massivamente direcionadas para produtos de origem nacional, visando proteção da indústria brasileira. Esse fato onera os produtos *cut-to-length* diretamente, visto que, com a existência de produto similar nacional, para o caso dos *forwarders*, os impostos incidentes nas importações são ainda mais elevados.

Produtos específicos e totalmente dedicados a operações florestais podem ainda apresentar uma menor liquidez para vendas futuras, antes ou após a vida útil estabelecida, gerando baixo valor de revenda. Esse é um dos pontos de fortalecimento da prática de utilização de escavadeiras florestais nacionais, mesmo com as suas limitações de engenharia já expostas anteriormente, que em contrapartida geram elevados custos de peças para manutenção. Dessa forma, economicamente a aquisição dos equipamentos e ferramentas tende a ser realizada para compor sistemas com a menor quantidade de produtos importados possíveis, deixando esses para operações específicas com demandas imutáveis onde seriam supostamente insubstituíveis. Ainda na parcela de pagamento, é importante atenção para o custo do capital atual no Brasil. As taxas de juros elevadas e instabilidades de câmbio tornam as operações de CAPEX onerosas e críticas em um projeto florestal. Em empresas com capacidade de captar recursos com menores taxas, o CAPEX ainda é muito utilizado, mas, em outras condições, empresas têm buscado soluções de OPEX para seus modelos de colheita, inclusive com terceirizações e outros modelos de negócio.

3.4.3 Estrutura de operação e manutenção

O sistema *cut-to-length* exige estruturas robustas de suporte, conseqüentemente altos investimentos. Devido aos altos investimentos iniciais, já

relatados na análise da componente parcelas de pagamento, geram-se então a necessidade de uma elevada disponibilidade mecânica dos equipamentos (disponibilidades mecânicas iguais ou superiores a 85%) durante toda a vida dos equipamentos. Somando-se um cenário com equipamentos com alta complexidade embarcada, cabeçotes processadores *harvester* e dos *forwarders* possuem alta tecnologia embarcada e complexidade de funcionamento de sistemas hidráulico, observa-se uma confirmação da demanda por grandes estruturas de gestão, operação e manutenção. Essas grandes e preparadas “estruturas de operação e manutenção” têm se mostrado eficientes e com excelência na obtenção dos resultados desejados, porém apresentam um custo de investimento elevado.

A alta tecnologia embarcada nos equipamentos *cut-to-length* contribui para uma demanda de mão de obra especializada para operação e manutenção dos equipamentos. Em um mercado com escassa disponibilidade de profissionais capacitados, as demandas constantes de treinamentos e capacitação de operadores, técnicos, engenheiros e gestores, contribui para os elevados custos das estruturas. Além desse aspecto, é importante observar a influência na dimensão da estrutura pelo complexo acesso aos equipamentos devido à dinâmica de trabalho em múltiplas frentes e dispersos dentro das florestas. O tempo de deslocamento aos equipamentos, a dificuldade de acesso e a complexidade tecnológica sem uma estrutura adequada podem gerar elevados tempos de reparo até a liberação dos equipamentos. Colocando ainda a severidade da operação ao qual são expostos *h* e somando a característica geral de toda a colheita florestal de ocorrer em locais naturalmente remotos (fazendas) com dificuldades logísticas de insumos e pessoal, faz-se necessária a presença de estruturas de operação e manutenção tão robustas comumente presentes nas operações de sistemas *cut-to-length*.

Atualmente, um módulo de colheita *cut-to-length* com capacidade de produção mensal de aproximadamente 90.000 m³ por mês pode chegar a ter 72 operadores, 20 mecânicos de manutenção, 15 colaboradores em equipe administrativa, além de 10 veículos, almoxarifado e oficinas móveis, veículos transporte, sistema de internet satelital e outros aparatos no campo para suportar a operação em sua dinâmica.

3.4.4 Combustível (diesel)

Um dos fatores mais complexos e variáveis dentro da composição de custo total de qualquer operação é a capacidade de produção dos equipamentos mediante um consumo de combustível.

Conforme Lopes (2007), a análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal será a razão entre o consumo específico determinado e a produtividade estabelecida. Dessa forma, transformando a potência em consumo específico de combustível e, na sequência, inserindo o valor do litro do diesel utilizado, será obtida a produtividade em R\$ por m³ produzido. Todo sistema de colheita então busca uma plenitude de seu rendimento energético e esse virá com as melhores condições de aplicação, em que os produtos possam desempenhar seu melhor consumo específico para a produtividade estabelecida. O consumo de combustível nos produtos do sistema *cut-to-length* remete-nos a algumas análises de concepção de engenharia e aplicação dos produtos, principalmente sobre a engenharia de construção das escavadeiras florestais equipadas com os cabeçotes processadores *harvester*. Importante observar o rendimento energético desses equipamentos e salientar os motivos para estes não estejam em sua plenitude de rendimento energético dentro do sistema *cut-to-length*.

É importante apontar principalmente uma construção hidráulica determinada para um trabalho parado e com sistema hidráulico simplificado quando comparado aos equipamentos determinados para essa operação como principais elementos para uma incapacidade de gerar melhores rendimentos energéticos nessa aplicação. Essa simplicidade, ou carência de complexidade, também dificulta mecanismos de controle de energia gerada e utilizada pelos cabeçotes *harvester*, deixando em muitos momentos que essa energia seja perdida ou mesmo seja transformada simplesmente em calor, calor que em alguns casos demandaram ainda mais energia para ser dissipado.

Um exemplo muito debatido sobre a carência de eficiência energética na operação de escavadeiras florestais com cabeçotes processadores *harvester* em sistemas *cut-to-length*, está no seu deslocamento. Por não possuírem sistemas para deslocamento independentes e utilizarem a mesma quantidade de fluxo hidráulico e, conseqüentemente, combustível, para o deslocamento que para operações de

produção, observa-se um custo elevado para operações que são improdutivas. A ausência de sistemas independentes para o deslocamento, movimentação dos implementos e a alimentação hidráulica do cabeçote processador tornam também as operações menos eficientes quando executadas simultaneamente, gerando menores produtividades que os equipamentos construídos especificamente para essa operação. Dessa forma, em operações de deslocamento e abate de árvores característica do *cut-to-length*, produtos com sistemas independentes chamados de *Purpose Built* são mais eficientes energeticamente.

3.4.5 Salário médio dos operadores

A última componente a ser analisada, de ordem social-econômica, é o custo com salários dos operadores. Trabalhar captação e retenção de operadores é uma ação de alto valor de investimento nessa componente do custo operacional. A direta influência da qualidade e capacidade dos operadores em retirar dos equipamentos os seus máximos potenciais produtivos e conservá-los até a vida útil estimada é de fundamental importância, onde, mesmo com as várias ações de capacitação e geração de mão de obra capacitada, ainda é escassa a disponibilidade de profissionais no mercado.

O elemento mais importante nessa componente, todavia não está relacionado diretamente aos dois fatores citados anteriormente, haja vista que se sabe que, mesmo com essas dificuldades de captação de operadores, as remunerações deles estão longe de serem as mais elevadas do mercado. Observa-se, então, que, para redução significativa dentro da composição dos custos finais quanto a salários de operadores, sem reduzir as qualidades e capacidades dos operadores pelos motivos já expostos, deve-se buscar reduzir a quantidade de equipamentos necessários para a produção. Essa redução, inclusive, tem um efeito “cascata”, com possibilidade de redução de uma série de itens direta e indiretamente relacionados à operação, pois equipes mais compactas são mais facilmente gerenciadas, acompanhadas e com políticas de retenção mais efetivas. Portanto, reduzir a quantidade gera oportunidade de incrementar a qualidade por operador e gerar ganhos operacionais.

3.5 EXIGÊNCIAS DA MADEIRA SEM CASCA PARA CELULOSE

O atendimento das rigorosas exigências estabelecidas pelas fábricas de celulose de eucalipto para madeira sem casca é fator crítico para viabilidade operacional de um sistema alternativo, sendo fator ainda mais primordial que a simples redução do custo final de produção. Esse atendimento é fundamental para um abastecimento e funcionamento eficiente da fábrica, evitando dificuldades operacionais no processo de alimentação dos picadores, em processos internos fabris com impactos na qualidade da celulose produzida, ou mesmo incrementos nos custos finais fabris devido a não conformidades. Para a idealização de um sistema alternativo, então, a fábrica de celulose necessita ser entendida como um “cliente final exigente e cativo”, sendo atendido em plenitude quanto às suas necessidades, desejos e demandas, somadas ainda as exigências severas de sustentabilidade e segurança para a produção delas, comuns em empresas do mercado florestal.

3.5.1 Desgalhamento e descascamento

A premissa principal para o sistema de colheita de madeira para produção de celulose é a necessidade de alta capacidade de retirada de galhos e casca das toras. O descascamento dentro das normas exigidas evita chegada de resíduos ao pátio da fábrica, onde estes resíduos demandam custos adicionais para remanejamento e se tornam material transportado indesejado. As cascas e galhos também são defendidos por muitos como ótimos repositores de nutrientes dos solos, e em algumas regiões são protetores dos mesmos contra ações do tempo.

No decorrer dos últimos anos, diferentes fabricantes tentaram com diferentes ferramentas executar desgalhamento e posterior descascamento com a eficiência e qualidade exigidas pelas fábricas de celulose e com maiores níveis de produtividade que os atuais cabeçotes processadores *harvester*. Nenhum deles teve sucesso e, de forma geral, não atingiram os resultados do tradicional cabeçote processador instalado em escavadeiras florestais. Conhecido pela sua elevada tecnologia embarcada com avançados sistemas de medição e controle, mas com custo operacional elevado e produtividade abaixo dos índices desejados, o cabeçote *harvester* ainda é a ferramenta

que desempenha o descascamento e desdobramento com a qualidade exigida pelas fábricas de celulose.

Nos sistemas atuais de colheita de madeira sem casca, o sistema *cut-to-length*, os cabeçotes processadores *harvesters* são aplicados como ferramentas multifuncionais, sendo assim responsáveis por todas as operações de colheita, inclusive pela desgalha e descascamento. Executado através de facas e rolos pulsantes e com superfícies preparadas para rolar a madeira de forma que a casca seja retirada, o descascamento com cabeçote processador *harvester* tem índices acima de 90%.

3.5.2 Comprimento da tora

A precisão no comprimento das toras processadas é mais um ponto desafiador. O atingimento do comprimento das toras exigido é fundamental para um bom andamento do processo fabril quando essas chegam ao pátio da fábrica, sendo esse também sinônimo de melhor aproveitamento das árvores e redução de desperdício do processo de colheita, somado a ganhos em processo subsequentes, como o de transporte com melhor preenchimento dos modais entre floresta e fábrica. Um processo de desdobra da madeira com maior precisão e tolerância pequena de erro gera toras mais precisas com todos os pontos positivos citados, e um ganho adicional através da possibilidade do incremento do comprimento estabelecido. Os comprimentos estabelecidos normalmente são resultados de uma média levando em consideração erros praticados por sistemas de medição durante a desdobra das toras.

Ou seja, para que não sejam geradas toras muito acima ou muito abaixo do desejado temos valores abaixo da capacidade das mesas de fábrica, e dos caminhões de transporte, estabelecidos como meta. Incrementando esse comprimento em 0,5m (6,5m para 7m), por exemplo, elevaríamos 7,5% de volume das pilhas, praticamente mantendo a quantidade de desdobras dependendo do comprimento das árvores. Tanto comprimento como descascamento também estão envolvidos com segurança na operação de transporte, visto que uma baixa qualidade desses processos representa maior dificuldade de amarração de carga e risco de queda durante o transporte, além do risco de sujeira nas rodovias por onde os caminhões trafegarem. Enfim, são muitos os ganhos em atender às exigências de comprimento e descascamento.

Cabeçotes processadores *harvester* possuem excelência na qualidade do desgalhamento e descascamento, porém, quando são analisados os desafios relacionados aos comprimentos, esses dependem de um processo eletrônico mais complexo para atender às exigências. Mensurados através de sensores e potenciômetros posicionados em partes móveis, como os rolos de tração ou no peito dos cabeçotes processador *harvester*, os sistemas leem continuamente o comprimento que está sendo desgalhado e descascado, parando o movimento da madeira no comprimento estabelecido. A dificuldade nesse processo concentra-se nas imprecisões mecânicas, principalmente na frenagem dos rolos, e decorre de desgaste das partes móveis. Essa característica gera uma necessidade constante de regulagens e ajustagens dos seus parâmetros de medição para evitar que os comprimentos muito abaixo ou muito acima do exigido pela fábrica sejam gerados.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para idealização e proposta de um sistema alternativo para a produção de madeira sem casca para celulose de celulose, é fundamental determinar meios para uma redução no custo de produção em R\$/m³ perante o sistema atual *cut-to-length*, atendendo a capacidade de implementação real da dinâmica do novo sistema e ainda respeitando as exigências de qualidade para o produto final já mencionadas.

Estudaremos então os principais componentes dos custos operacionais totais do sistema atual *cut-to-length*, determinando seus fatores de influência e como podem ser minimizados no sistema alternativo. Com os fatores a serem minimizados definidos, buscaremos equipamentos no mercado e determinaremos dinâmicas operacionais que atendam a estas exigências. Neste ponto apresentaremos a composição do sistema alternativo para produção de madeira sem casca para celulose de eucalipto, objetivo central do trabalho e sua dinâmica operacional.

4.1 REDUÇÃO DO CUSTO DE PRODUÇÃO EM R\$/m³

Através de valores médios operacionais de mercado para custos fixos e custos variáveis envolvidos, eliminando características peculiares e particulares de locais produtivos como relevos, condições de florestas, e outros, construiremos os custos totais operacionais do sistema *cut-to-length* e do sistema alternativo. A produtividade dos modelos para fins de estudo foi definidas como sendo os potenciais produtivos médios dos equipamentos apontados por fabricantes. Consideraremos ainda nesta composição para fins de estudo uma taxa de juros de 12% a.a., uma vida útil de 5 anos para os equipamentos, entrada de 20% e um valor residual para revenda dos equipamentos de 5% para produtos totalmente importados e de 15% para os produtos com base em escavadeiras nacionais, incluindo seus valores de ferramentas. Os valores de aquisição dos equipamentos são igualmente médios de mercado de diversos fabricantes, onde os valores em dólares foram convertidos em reais (R\$) com base em uma taxa de câmbio comercial americano oficial do Banco Central do Brasil (PTAX 800) de R\$ 3,40 (BANCO CENTRAL DO BRASIL, 2016).

Essa construção e análise será realizada para os dois sistemas, nas mesmas premissas estabelecidas, definindo assim o custo em R\$/m³ para cada sistema, nos

permitindo comparar os custos e verificar o atingimento da deseje redução no sistema alternativo.

4.2 COMPOSIÇÃO E ATENDIMENTO AS EXIGÊNCIAS DE QUALIDADE

A determinação da composição será realizada na sequência, através de equipamentos e quantidades que minimizem os principais componentes dos custos operacionais totais do sistema atual *cut-to-length* analisados, atendendo as exigências de descascamento e comprimento da madeira para celulose, apresentadas e debatida, e uma dinâmica operacional aplicável. Para atendimento a exigências de qualidade, o sistema alternativo necessariamente deverá buscar uma solução de equipamento com capacidade de descascamento da madeira e ainda capacidade de traçamento com precisão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 COMPONENTES DOS CUSTOS NO SISTEMA *CUT-TO-LENGTH*

Através então da organização na Tabela 1, de valores médios de mercado referentes sistema *cut-to-length* conforme premissas iniciais estabelecidas, chegamos a um valor final de 25,02 R\$/m³ produzido, em um módulo com capacidade de produção de 98.000 m³ por mês.

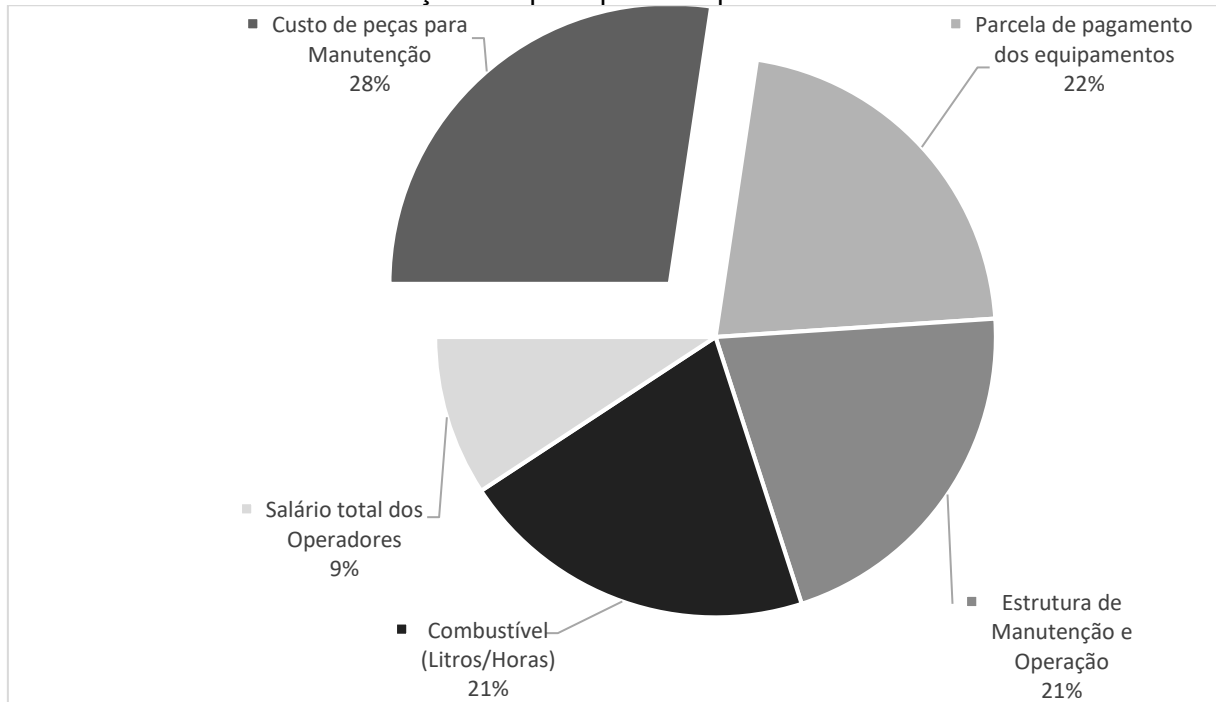
Tabela 1 – Valores médios de mercado coletados e custos estimado de colheita com depreciação para o sistema *cut-to-length*

EQUIPAMENTOS	HARVESTER	FORWARDER
Aquisição dos equipamentos	R\$ 923.000,00	R\$ 1.938.000,00
Revenda (%)	15%	5%
Valor de revenda (R\$)	R\$ 138.450,00	R\$ 96.900,00
Reposição de ferramentas	R\$ 306.000,00	R\$ 70.000,00
Vida útil (anos)	5,00	5,00
Vida útil (horas)	25000	3000
DADOS OPERACIONAIS		
Consumo de combustível (litros/horas)	24,5	14,5
Preço médio do combustível (R\$/litros)	R\$ 3,50	R\$ 3,50
Salário médio de operadores (R\$)	R\$ 2.714,70	R\$ 2.714,70
Encargos sociais (R\$)	R\$ 4.465,68	R\$ 4.465,68
Quantidade de operadores por máquinas	3,00	3,00
Horas totais por dia (-2 horas de refeição)	20,00	17,60
Horas disponíveis por dia	17,00	15,49
Horas planejadas por dia	15,30	13,63
Dias de trabalho planejado por mês	30,00	30,00
CUSTOS FIXOS – Unidade / Mês		
CUSTO FIXO	R\$ 18.033,88	R\$ 40.896,44
CUSTO FIXO /m ³	1,98	2,53
Entrada (20% do valor)	R\$ 184.600,00	R\$ 387.600,00
Taxa de juros (anual)	15%	15%
Parcelas fixas	48,00	48,00
Valor parcelado	R\$ 738.400,00	R\$ 1.550.400,00
Parcela de pagamento dos equipamentos	R\$ 20.199,32	R\$ 42.412,01
CUSTOS VARIÁVEIS – Unidade / Mês		
CUSTO VARIÁVEL	R\$ 134.031,34	R\$ 93.325,24
CUSTO VARIÁVEL /m ³	14,75	5,76
Estrutura de manutenção e operação	R\$ 30.555,56	R\$ 30.555,56
Salário total dos Operadores	R\$ 13.397,04	R\$ 13.397,04
Combustível (litros/horas)	R\$ 39.359,25	R\$ 20.750,82
Custo de peças para manutenção	R\$ 50.719,50	R\$ 28.621,82

CUSTO TOTAL – Unidade / Mês	R\$ 152.065,22	R\$ 134.221,68
Produtividade (árvores/hora)	110	220
VMI	0,18	0,18
Produtividade (m3/hora)	19,80	39,60
Produção (m3)	9.088,20	16.191,77
Quantidade de equipamentos	12	6
Total de equipamentos por módulo	18	
Custo unitário de produção (R\$/m3)	16,73	8,29
Custo unitário de produção por módulo (R\$/m3)	25,02	
Produção total por modulo do cut-to-length (m3)	97.150,65	
Custo total de produção do cut-to-length	R\$	2.430.870,33
DISPONIBILIDADE MECÂNICA POTENCIAL (%)	85%	85%

Fonte: Elaboração própria (2016)

Gráfico 1 – Fatores de contribuição dos principais componentes



Fonte: Elaboração própria (ano 2016).

Partindo desses dados, iniciamos a análise dos principais componentes dos custos operacionais totais do sistema.

Observamos que o custo de peças para manutenção é o principal componente dos custos com 28%, o que reforça a importância da não utilização dos cabeçotes *harvester* e dos *forwarder* nas suas aplicações tradicionais, visto que possuem elevado valor de manutenção. Seus altos custos de peças para manutenção, já justificados e debatidos anteriormente na fundamentação teórica, são a base para a alta relevância deste fator no

custo final, todavia uma premissa-base para o novo sistema é a manutenção da utilização dos cabeçotes *harvester* devido aos altos padrões exigidos de descascamento perante um mercado atual de máquinas e ferramentas sem soluções com mesma eficiência, fato a ser detalhado na definição da composição e dinâmica do sistema alternativo a ser idealizado.

Na sequência temos a parcela de pagamento do equipamento, com 22%, reforçando dois outros fatores de mudança primordiais para o sistema alternativo a ser idealizado, que impactam diretamente em todas as componentes citadas. Um deles é a busca por uma redução na quantidade de equipamentos nos módulos de colheita, impactando diretamente na redução da parcela o equipamento, e ainda reduzindo diretamente a quantidade operadores, componente ainda a ser analisada. Outro ponto que é a prioridade no sistema alternativo é a presença de produtos nacionais e menos específicos. Com menores valores de investimentos e maiores percentagens de valores residuais para possíveis vendas após o período de utilização, se tornam mais atrativos economicamente e reduzem os valores finais dos custos produtivos.

A estrutura de manutenção e operação, e o combustível, representam cada um 21%. A dinâmica de operação do sistema alternativo deverá ter como fator crítico, características que reduzam o tamanho da estrutura de gestão, operação e manutenção de seus equipamentos. Equipamentos mais próximos as estradas por exemplo, somado a tecnologia embarcada menos complexas e facilidade de manutenção, e ainda um melhor acesso pela equipe de manutenção até os equipamentos, gerarão ganhos e redução nos custos de estrutura de operação e manutenção.

Para o consumo de combustível, a busca pela sua redução passará pela busca de melhores condições de balanço energético. Assim, quando possível, serão utilizadas escavadeiras como máquina-base, como no caso dos os processadores, e a dinâmica do sistema deve permitir que essas trabalhem a maior parte de seu tempo sem deslocamento, ou seja, dentro de sua característica de concepção de engenharia para a qual foram projetadas, reduzindo ainda assim seu principal item de desgaste durante a vida útil, os sistemas de rodante. O consumo de combustível no sistema alternativo deve ser exclusivamente dedicado a atividades produtivas e com a maior eficiência possível por parte de seus equipamentos.

Os custos com salário dos operadores representam 9%. No sistema alternativo, como já comentado, uma premissa fundamental a ser trabalhada na idealização do

sistema será redução da quantidade de operadores através da redução da quantidade de equipamentos com equipamentos mais produtivos.

5.2 SISTEMA ALTERNATIVO DE COLHEITA

Após a análise dos principais componentes dos custos do sistema *cut-to-length* apresentados anteriormente, conhecemos detalhadamente onde o sistema alternativo deve atuar como intuito de redução dos custos operacionais totais, tendo uma dinâmica aplicável e respeitando as exigências de qualidade. Com isso somos capazes de idealizar e definir os equipamentos elegidos e a dinâmica de operação.

O sistema colheita alternativo inicia-se então com a entrada do *feller buncher* no talhão derrubando feixes de árvores inteiras preparadas para atuação do *skidder* de rodas. Essa derrubada deve ser realizada de forma a produzir combinados a serem arrastados pelo *skidder* até um espaço determinado do talhão. Posteriormente, essas árvores arrastadas serão desgalhadas, descascadas e preparadas para a operação de traçamento da mesa *slasher*. Com as pilhas de árvores inteiras descascadas disponíveis, o *slasher* traçará em toras de 6,5 metros e as empilhará para carregamento. No sistema alternativo então os cabeçotes processadores *harvester* serão mantidos exclusivamente para as operações de desgalhamento e descascamento, apesar da sua alta contribuição para o fator custo de peças para manutenção constatado no sistema *cut-to-length*.

A seguir, é demonstrado então a dinâmica do sistema alternativo através de um fluxo macro do processo na Figura 1, e ainda um esquema simplificado do posicionamento dos equipamentos dentro da operação do sistema na Figura 2.

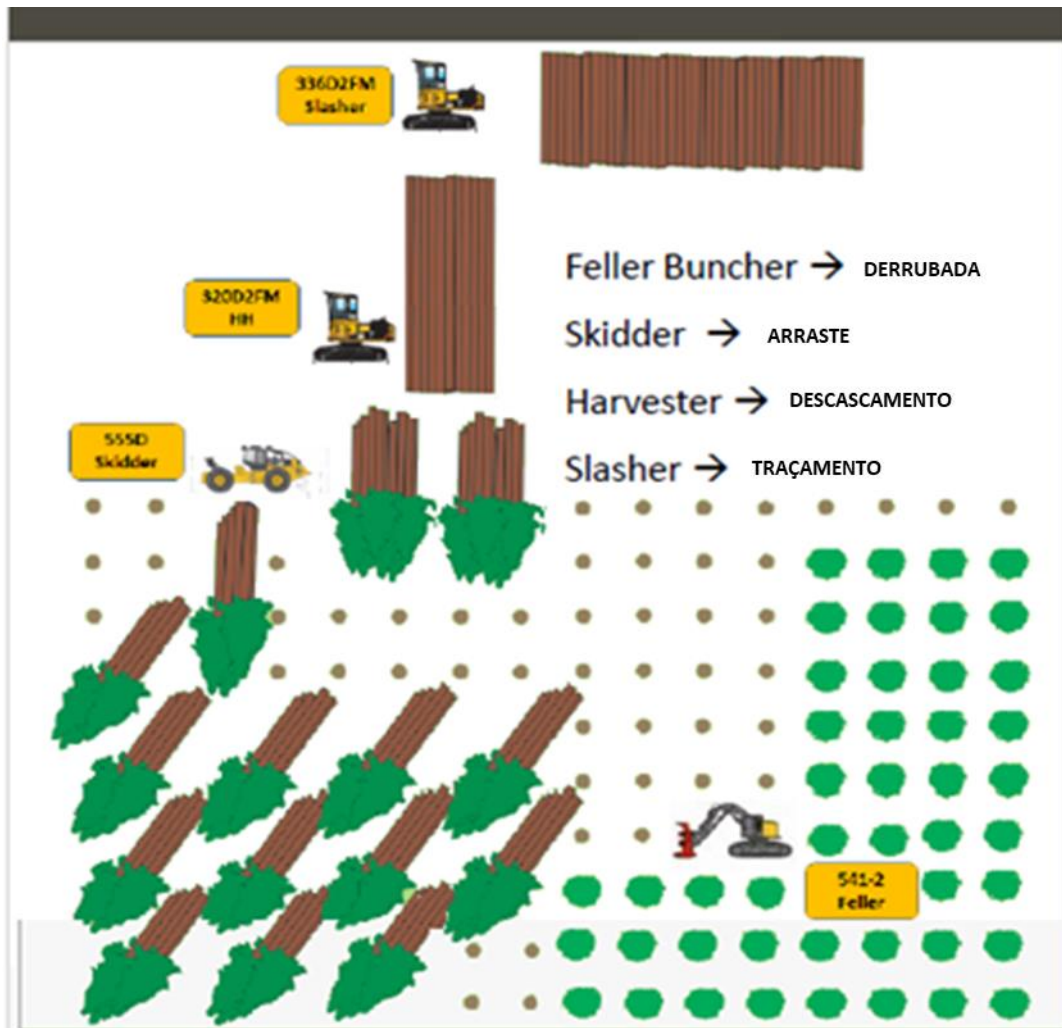
Figura 1 – Fluxo macro A: *feller buncher* no processo de derrubada; B: *skidder* no arraste; C: *harvester* desgalhando e descascando; D: *slasher* mesa traçadora finalizando



Fonte: Acervo de fotos teste de campo (2016)

Alguns aspectos adicionais importantes nessa dinâmica operacional foram determinados e foram ajustados durante os testes realizados em campo. As operações do *feller buncher* e *skidder* não tinham diferenças substanciais das utilizadas naturalmente pelo sistema *full-tree* ou de toras longas, porém as etapas seguintes de desgalhamento e descascamento executadas pelas escavadeiras florestal com cabeçote *harvester* e de traçamento executada pela escavadeira de grande porte com a mesa *slasher* demandariam um planejamento e detalhamento minucioso do posicionamento dos feixes de árvores e dos equipamentos. Dessa forma, os feixes deixados arrastados pelo *skidder*, as árvores processadas pelo *harvester* e as pilhas construídas pelo *slasher* foram posicionados conforme o diagrama da Figura 2, sendo os equipamentos posicionados de forma a serem capazes de forma o mais eficiente possível de cumprir esse planejamento.

Figura 2 – Esquema simplificado da operação do sistema

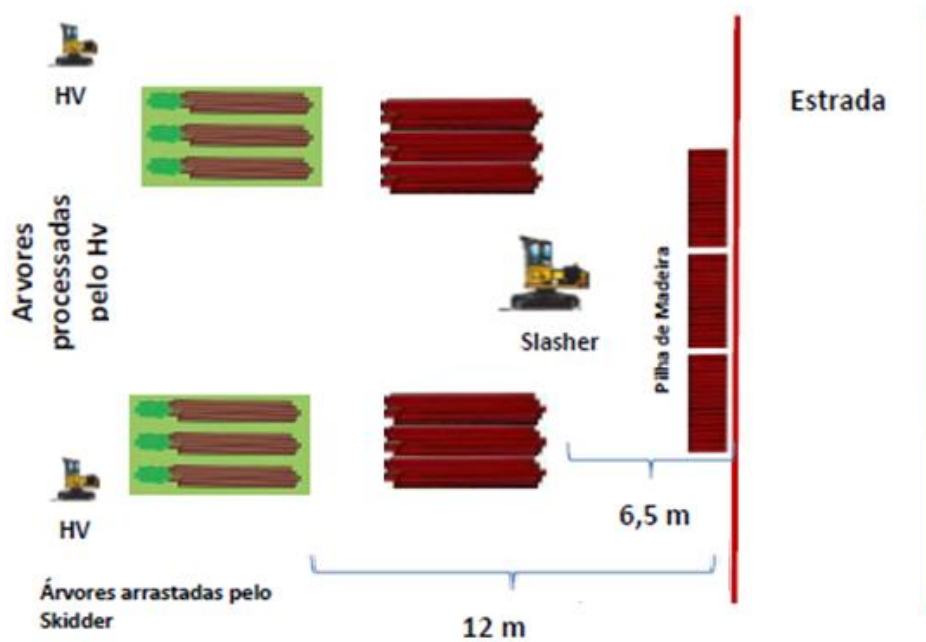


Fonte: Elaboração própria (2016)

Além do aspecto da posição dos equipamentos e dinâmica de suas atuações dentro da dinâmica do sistema, outros fatores importantes de planejamento demandado foram a sequência e o fluxo de atuação dos equipamentos. A derrubada a 45° teria de ser bem realizada, deixando a possibilidade ao *skidder* de trabalhar um posicionamento com qualidade e precisão dos feixes como estabelecido. A entrada dos processadores *harvester* necessitava ser bem definida e com distanciamento entre as unidades bem estabelecido para fins de produtividade. Um sincronismo da operação é notório e necessário, assim como uma atuação sequenciada do *slasher* para evitar equipamentos ociosos, longos deslocamentos ou outras dificuldades operacionais inerentes a um sistema conceituado pelo mercado como “quente” devido à operação de descascamento um período após o abate.

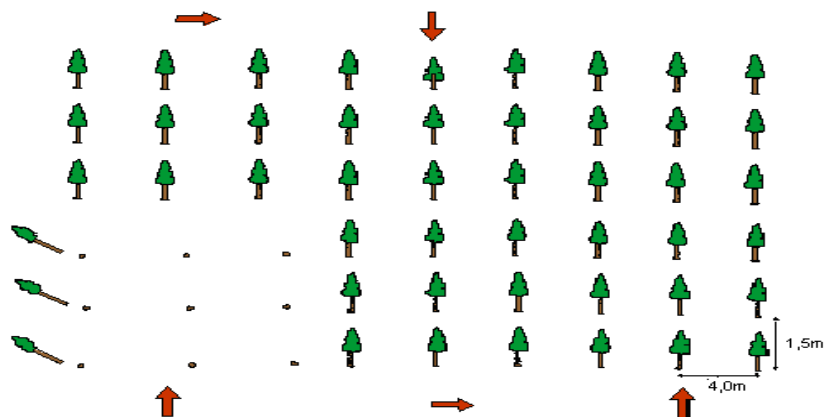
Dessa forma, foi determinada e planejada a abertura dos talhões pelo *feller buncher*, cortando em quadro linhas e derrubando a 45°. Na sequência, os *skidder* arrastavam esses feixes, fazendo pilhas sobre pilhas para a mais próxima saída e local de formação de pilha posicionadas a 12 metros da estrada para processamento do *slasher*, conforme a Figura 3. A dinâmica do *feller buncher* e *skidder* está representada na Figura 4.

Figura 3 – Distribuição do processamento e traçamento



Fonte: Elaboração própria (2016)

Figura 4 – Dinâmica de atuação do *feller buncher* e *skidder* de rodas



Fonte: Elaboração própria (2016)

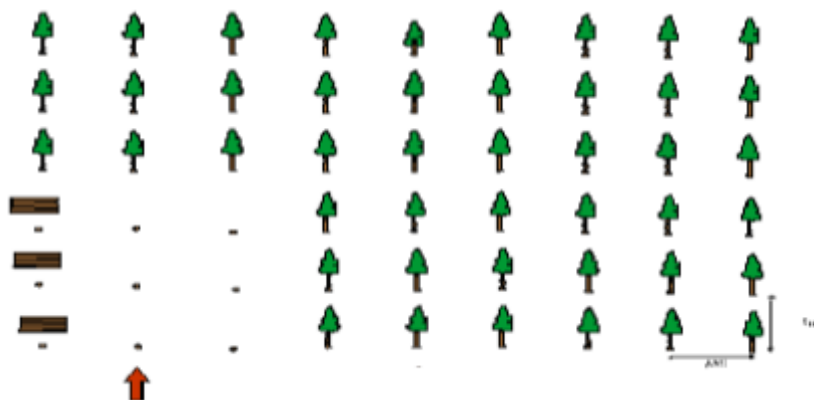
Figura 5 – Operação do *skidder* de rodas formando pilhas para atuação dos *harvesters*



Fonte: Acervo de fotos teste de campo (2016)

Os processadores teriam seu momento de atuação logo que formassem as primeiras pilhas do *skidder* de rodas formadas, em que iniciariam o processo de desgalhamento e descascamento, formando a pilha de árvores inteiras descascadas paralelas às pilhas formadas pelos *skidders*, para o desdobramento em toras pelo *slasher*. Na sequência, inicia-se a operação do *slasher*, desdobrando e empilhando as toras de 6,5 metros na beira da estrada. Essa dinâmica das escavadeiras com processadores *harvester* e do *slasher* está representada nas Figuras 6 e 7.

Figura 6 – Dinâmica de atuação das escavadeiras com processadores *harvester*



Fonte: Elaboração própria (2016)

Figura 7 – Posicionamento dos *harvester* no desgalhamento e descascamento da madeira, e preparação de pilhas para o *slasher*



Fonte: Acervo de fotos teste de campo (2016)

Com a definição do sistema alternativo de colheita de madeira sem casca para produção de celulose de eucalipto, e exposição sua dinâmica operacional, determinamos a composição em quantidades de um módulo de colheita do sistema, buscando uma composição com produção mensal próxima à do atual módulo do sistema *cut-to-length*, algo em torno de 98 mil m³ mensais, para assim melhor compararmos os resultados. Dessa forma, determinou-se a composição de 1 (um) módulo do sistema alternativo, conforme representado na Figura 8.

Figura 8 – Composição de 1 (um) módulo do sistema proposto



Fonte: Elaboração própria (2016)

O módulo do sistema alternativo apresentou uma composição de estrutura de operação e manutenção bem próxima da atual existente no sistema *cut-to-length*, sendo sensivelmente menor, fato que será debatida na sequência trabalho. Esta também era

uma importante premissa para a manutenção das capacidades de comparação e análise entre os resultados dos dois sistemas.

5.3 CUSTO OPERACIONAL DO SISTEMA ALTERNATIVO

Determinada a composição do sistema alternativo idealizado, e para fins de constatação da capacidade teórica do sistema alternativo de reduzir os custos de produção estabelecidos em R\$/m³, se faz necessário construirmos o custo total operacional teórico do sistema alternativo. As premissas a serem utilizadas para composição destes custos serão idênticas as utilizadas para o sistema *cut-to-length* anteriormente, onde com a consolidação dos dados, construímos a Tabela 2 com a definição do custo operacional total do sistema alternativo.

Tabela 2 – Valores médios de mercado coletados e custos estimado de colheita com depreciação para o sistema alternativo

EQUIPAMENTOS	TRACK FELLER BUNCHER	SKIDDER DE RODAS	HARVESTER	SLASHER
Aquisição dos equipamentos	R\$ 2.176.000,00	R\$ 1.394.000,00	R\$ 923.000,00	R\$ 930.000,00
Revenda (%)	5%	5%	15%	15%
Valor de revenda (R\$)	R\$ 108.800,00	R\$ 69.700,00	R\$ 138.450,00	R\$ 139.500,00
Reposição de ferramentas	R\$ 476.000,00	-	R\$ 306.000,00	R\$ 200.000,00
Vida útil (anos)	5,00	5,00	5,00	5,00
Vida útil (horas)	25000	25000	25000	25000
DADOS OPERACIONAIS				
Consumo de combustível (litros/horas)	43,1	22,5	23,4	25,8
Preço médio do combustível (R\$/litros)	R\$ 3,50	R\$ 3,50	R\$ 3,50	R\$ 3,50
Salário médio de operadores (R\$)	R\$ 2.714,70	R\$ 2.714,70	R\$ 2.714,70	R\$ 2.714,70
Encargos sociais (R\$)	R\$ 4.465,68	R\$ 4.465,68	R\$ 4.465,68	R\$ 4.465,68
Quantidade de operadores por máquinas	3,00	3,00	3,00	3,00
Horas totais por dia (-2 horas de refeição)	20,00	20,00	20,00	20,00
Horas disponíveis por dia	17,00	17,00	17,00	17,00
Horas planejadas por dia	15,30	15,30	15,30	15,30
Dias de trabalho planejado por mês	30,00	30,00	30,00	30,00
CUSTOS FIXOS – Unidade / Mês				
CUSTO FIXO	R\$ 45.918,81	R\$ 29.416,74	R\$ 16.932,61	R\$ 17.061,02
CUSTO FIXO /m3	0,82	0,52	1,11	0,30
Entrada (20% do valor)	R\$ 435.200,00	R\$ 278.800,00	R\$ 184.600,00	R\$ 186.000,00
Taxa de juros (anual)	15%	15%	12%	12%
Parcelas fixas	48,00	48,00	48,00	48,00
Valor parcelado	R\$ 1.740.800,00	R\$ 1.115.200,00	R\$ 738.400,00	R\$ 744.000,00
Parcela de pagamento dos equipamentos	R\$ 47.620,51	R\$ 30.506,89	R\$ 19.223,24	R\$ 19.369,03
CUSTOS VARIÁVEIS – Unidade / Mês				
CUSTO VARIÁVEL	R\$ 153.381,28	R\$ 122.582,38	R\$ 121.733,23	R\$ 125.588,83
CUSTO VARIÁVEL /m3	2,73	2,18	7,96	2,24
Estrutura de Manutenção e Operação	R\$ 40.909,09	R\$ 40.909,09	R\$ 40.909,09	R\$ 40.909,09
Salário total dos Operadores	R\$ 13.397,04	R\$ 13.397,04	R\$ 13.397,04	R\$ 13.397,04
Combustível (Litros/Horas)	R\$ 69.240,15	R\$ 36.146,25	R\$ 37.592,10	R\$ 41.447,70

Custo de peças para Manutenção	R\$ 29.835,00	R\$ 32.130,00	R\$ 29.835,00	R\$ 29.835,00
CUSTO TOTAL – Unidade / Mês	R\$ 199.300,09	R\$ 151.999,11	R\$ 138.665,84	R\$ 142.649,85
Produtividade (árvores/hora)	680	680	185	680
VMI	0,18	0,18	0,18	0,18
Produtividade (m3/hora)	122,40	122,40	33,30	122,40
Produção (m3)	56.181,60	56.181,60	15.284,70	56.181,60
Quantidade de equipamentos	2	2	5	2
Total de equipamentos por módulo			11	
Custo unitário de produção (R\$/m3)	3,55	2,71	9,07	2,54
Custo unitário de produção por módulo (R\$/m3)			17,86	
Produção total potencial por módulo do sistema alternativo (m3)				112.363,20
Custo total estimado de produção do sistema alternativo				R\$ 2.007.279,39
DISPONIBILIDADE MECÂNICA POTENCIAL (%)	85,0%	85,0%	85,0%	85,0%

Tabela 3 – Custos estimado de colheita com depreciação para o sistema alternativo

Fonte: Base de dados do teste de campo.

Os resultados apontaram um custo unitário de produção para o sistema alternativo de 17,86 (R\$/m³) reais por metro cúbico, 29% menor que o estimado para o atual sistema *cut-to-length*.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados do trabalho permitiram concluir que o sistema alternativo de colheita se mostrou economicamente viável com redução significativa do custo de produção, e tecnicamente executável em condições reais sendo assim uma opção real para substituição do sistema *cut-to-length* na produção de madeira sem casca para produção de celulose. Esse resultado é consequência direta de uma redução de 39% da quantidade de equipamentos e um incremento de 16% na capacidade produtiva, além de uma estrutura de operação e manutenção aproximadamente 20% mais econômica.

7 RECOMENDAÇÕES

Para uma análise global dos impactos do sistema alternativo apresentado, acreditamos ser necessária uma análise mais criteriosa também de outros fatores e aspectos, positivos e negativos.

Alguns pontos, classificados como positivos, devem ser futuramente aprofundados. Podemos citar como recomendações de estudos quanto a resultados supostamente positivos os seguintes pontos:

- a) com a precisão mecânica do *slasher* no corte das toras, as pilhas apresentaram encabeçamento com alta qualidade. Essa característica do sistema alternativo proposto trará grandes ganhos de produtividade no processo de logística, sendo esses ganhos não mensurados no presente trabalho. Será importante analisar o sistema de colheita completo até a madeira posta na fábrica para que esses valores possam ser também contabilizados positivamente nos custos finais após o sistema alternativo proposto de colheita.
- b) outro ponto a ser analisado em futuros estudos são as facilidades da silvicultura com talhão pós operação do sistema alternativo proposto. Com a colheita com

feller buncher, existe uma capacidade de tocos mais baixos. No sistema *cut-to-length* tradicional, a expectativa é de tocos de aproximadamente 15 cm, enquanto no sistema alternativo proposto constatamos tocos iguais ou menores a 7 cm. Depois da operação do *skidder* de rodas, o talhão tende a ficar “limpo”, o que facilitará as operações seguintes de silvicultura tanto para a questão de manutenção dos pneus e facilidade de deslocamento quanto pela questão de ausência de resíduos que podem se prender nas ferramentas de subsolagem e preparo de solo.

- c) há ainda ganhos com a não necessidade de tráfego na estrada pelo equipamento que executa o empilhamento, como acontece com os *forwarders*, reduzindo assim os danos a estrada e a sujidade na lateral as pilhas.
- d) por fim, apontamos no trabalho uma redução de 20% aproximadamente nos investimentos de estrutura de operação e manutenção, mas também existe uma expectativa de incremento dos índices de disponibilidade mecânica e eficiência operacional pela menor complexidade dos equipamentos e método de utilização deles.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE Standards 1999: **Agricultural machinery management data**. St. Joseph, USA, 1999. p.332-339. (ASAE D497.2).

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE standards 2001: **machinery, equipment, and buildings: operating costs**. Ames, Iowa, USA, 2001. p. 164-226. (ASAE D472-3).

BURLA, E. R. **Avaliação técnica e econômica do harvester na colheita do eucalipto**. 2008. 79 f. Tese (mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

DEPEC-BRADESCO – **Departamento de Pesquisas e Estudos Econômicos, novembro 2017**. Disponível em: <http://www.economiaemdia.com.br/EconomiaEmDia/pdf/infset_papel_e_celulose.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

DUARTE, R. C. G. **Sistemas de corte florestal mecanizado**. Trabalho de conclusão de Curso de Engenharia Florestal - Universidade Federal de Viçosa, MG, 1994. 21 p.

Forests and Rangelands - **FOREST OPERATIONS EQUIPMENT CATALOG – Skidders**. Disponível em: <<http://www.forestsandrangelands.gov/catalog/equipment/skidlers.shtml>> Acessado em: 07 ago. 2017.

Forests and Rangelands - **FOREST OPERATIONS EQUIPMENT CATALOG - Harvester**. Disponível em: <<http://www.forestsandrangelands.gov/catalog/equipment/harvester.shtml>> Acessado em: 07 ago. 2017.

IBÁ, 2016. **Relatório Anual 2016**. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2017.

LOPES, S. E. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita florestal**. 2007. 144 f. Tese (Doutorado em Energia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, April,

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

MACHADO, C.C.; SILVA, E. N.; PEREIRA, S. R.; **O Setor Florestal Brasileiro e a Colheita Florestal**. In: MACHADO, C.C. Colheita Florestal. Viçosa: UFV, 2008. cap. 1, p. 15-42.

MALINOVSKI, J .R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R. A. Sistemas. In:

MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita florestal**. Viçosa, MG: UFV, 2002. p. 145-167.

MALINOVSKI, J. R.; MALINOVSKI, R. A.; CAMARGO, C. M. S. Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita Florestal**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa/Imprensa Universitária, 2006a.

ROBERT, R. C. G. **Análise técnica e econômica de um sistema de colheita mecanizada em plantios de eucalyptus spp. em duas condições de relevo acidentado**. 2013 112 f. Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

RÍGOLO, A.; BAPTISTA, M., D. **Colheita florestal**. Disponível em: <http://www.amatabrasil.com.br/pt/operacoes/plantacoes_exoticas/PO_PLT_18_Colheita_Florestal_091016.pdf>. Acessado em: 10 jun. 2017.

SEIXAS, F. Extração florestal. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2008. p. 97-145.

SILVA, C. B. et al. **Avaliação ergonômica do feller-buncher utilizado na colheita de eucalipto**. Cerne, Lavras, v.9, n.1, p.109-118, 2003.

SILVA, M.L.; MIRANDA, G.M.; CORDEIRO, S.A. Custos. In: MACHADO, C.C. **Colheita Florestal**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2008. p. 231-260.

SIMÕES, D. et al. **Avaliação técnica e econômica da colheita de florestas de eucalipto com harvester**. Scientia Forestales, v. 38, n. 88, p. 611-618, 2010.

TISSUE ON LINE. Disponível em: <<http://tissueonline.com.br/alta-oferta-alerta-mercado-dos-precos-para-celulose/>>. Acesso em: 14 abr. 2017

UUSITALO, J. **Introduction to Forest Operations and Technology**. JVP Forest Systems Oy. Kariston Kirjapaino Oy, Hämeenlinna, 2010. 287 pág.