

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GUILHERME CARVALHO LANA

EFEITO DA DIMENSÃO DE TORAS NO PROCESSO DE COLHEITA FLORESTAL  
E SEUS IMPACTOS NO CUSTO E NA QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL

---

CURITIBA

2012

GUILHERME CARVALHO LANA

---

EFEITO DA DIMENSÃO DE TORAS NO PROCESSO DE COLHEITA FLORESTAL  
E SEUS IMPACTOS NO CUSTO E NA QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL

---

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Romano Timofeiczuk Junior

Co-orientador: Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva

Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Anselmo Malinovski

CURITIBA

2012

Ficha catalográfica elaborada por Denis Uezu – CRB 1720/PR  
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Lana, Guilherme Carvalho

Efeito da dimensão de toras no processo de colheita florestal e seus impactos no custo e na qualidade do carvão vegetal / Elisângela Lobo Schirigatti. – 2012  
83 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Romano Timofeiczuk Junior

Coorientadores: Prof. Dr. Dimas Agostinho da Silva

Prof. Dr. Ricardo Anselmo Malinovski

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. Defesa: Curitiba, 15/08/2012.

Área de concentração: Economia e Política Florestal

1. Colheita florestal - Custos. 2. Toras de madeira. 3. Carvão vegetal. 4. Máquinas florestais. 5. Teses. I. Timofeiczuk Junior, Romano. II. Silva, Dimas Agostinho da. III. Malinovski, Ricardo Anselmo. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.308.1



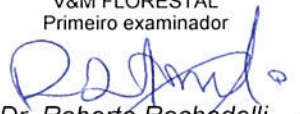
Universidade Federal do Paraná  
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

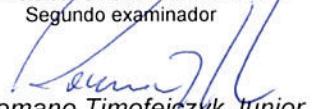
**PARECER**

Defesa nº. 934

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após argüir o(a) mestrando(a) *Guilherme Carvalho Lana* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**EFEITO DA DIMENSÃO DE TORAS NO PROCESSO DE COLHEITA FLORESTAL E SEUS IMPACTOS NO CUSTO E NA QUALIDADE DO CARVÃO VEGETAL**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* em Engenharia Florestal, área de concentração em **ECONOMIA E POLÍTICA FLORESTAL**.


  
Dr. Helder Bolognani Andrade  
V&M FLORESTAL  
Primeiro examinador

  
Dr. Roberto Rochadelli  
Universidade Federal do Paraná  
Segundo examinador

  
Dr. Romano Timofeiczky Junior  
Universidade Federal do Paraná  
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 15 de agosto de 2012.

  
Antonio Carlos Batista  
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal  
Carlos Roberto Sanquetta  
Vice-coordenador do curso

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo dom da vida.

Aos meus pais, Guilherme Campos Lana, Fátima Regina Carvalho Lana, a minha irmã, Ana Claudia Carvalho Lana, por todo amor, carinho e segurança a mim oferecido.

Aos meus avôs, as minhas avós, aos meus tios e tias, primas e primos, em especial a minha avó Alice.

Aos professores, Romano Timofeiczuk Junior, Dimas Agostinho da Silva e Ricardo Anselmo Malinovski, pela oportunidade e pelos ensinamentos.

A Vallourec & Mannesmann, em especial ao Helder Bolognani Andrade pelo total apoio e confiança.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	iv
LISTA DE TABELAS .....	v
LISTA DE GRÁFICOS.....	vi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT .....	x
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 OBJETIVOS .....	3
3 REVISÃO DE LITERATURA .....	4
3.1 A importância das florestas plantadas no Brasil.....	4
3.2 A indústria siderúrgica a carvão vegetal no Brasil.....	5
3.3 A indústria siderúrgica a carvão vegetal em Minas Gerais .....	6
3.4 A colheita florestal no Brasil.....	7
3.5 Colheita florestal mecanizada .....	8
3.5.1 Harvester .....	10
3.5.2 Trator florestal autocarregável (Forwarder) .....	11
3.6 O processo de carbonização .....	12
3.7 Qualidade do carvão vegetal .....	14
3.8 Custos.....	16
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
4.1 Local de estudo.....	18
4.2 Coleta dos dados .....	18
4.3 Identificação das operações .....	19

4.3.1 Colheita e transporte da madeira.....	22
4.3.1.1 Corte e processamento da madeira no campo .....	22
4.3.1.2 Baldeio.....	23
4.3.1.3 Transporte da madeira até a planta de carbonização.....	24
4.3.2 Carbonização.....	25
4.3.2.1 Carregamento do forno.....	27
4.3.2.2 Descarregamento do Forno .....	27
4.3.2.3 Análise da qualidade do carvão vegetal .....	28
4.3.2.4 Rendimento gravimétrico .....	29
4.3.2.5 Rendimento em carbono fixo .....	29
4.3.2.6 Teor de cinzas .....	30
4.3.2.7 Materiais voláteis .....	30
4.3.2.8 Teor de carbono fixo .....	31
4.3.2.9 Granulometria .....	31
4.3.2.10 Resistência mecânica .....	32
4.3.2.11 Poder calorífico superior.....	33
4.4 Determinação dos componentes de custos das operações mecanizadas.....	34
4.4.1 Custos Fixos totais da colheita (CF) .....	34
4.4.2 Custos variáveis totais da colheita (CVT) .....	36
4.4.3 Custo total da colheita (CT) .....	38
4.4.4 Custo do transporte .....	39
4.4.5 Custo do carregamento e do descarregamento do forno.....	39
4.5 Custo da colheita na produção de carvão vegetal .....	39
4.6 Análise estatística dos dados.....	40
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	41
5.1 Colheita e transporte da madeira.....	41
5.1.1 Corte e processamento da madeira no campo .....	41

5.1.2 Baldeio.....	45
5.2 Carbonização e qualidade do carvão vegetal .....	47
5.3 Análise dos custos .....	51
5.3.1 Custos Fixos da colheita.....	51
5.3.2 Custos variáveis da colheita .....	52
5.3.3 Custo total da colheita .....	55
5.3.4 Custo do carregamento e do descarregamento do forno.....	57
5.3.5 Custo da colheita na produção de carvão vegetal .....	58
6 CONCLUSÕES .....	60
7 RECOMENDAÇÕES.....	61
8 REFERENCIAS.....	62



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Vista geral do talhão utilizado para o estudo.....	19
Figura 2 Mapa do talhão utilizado no estudo.....	20
Figura 3 Fluxograma do trabalho desenvolvido.....	21
Figura 4 Harvester utilizado para o corte e processamento da madeira .....	22
Figura 5 Trator florestal auto carregável Valtra BH 180 utilizado na etapa de baldeio .....	24
Figura 6 Caminhão auto carregável utilizado na etapa de transporte da madeira para a planta de carbonização .....	25
Figura 7 Vista lateral do forno FR 230 utilizado na etapa de carbonização. ....	26
Figura 8 Vista frontal do forno FR 230 utilizado na etapa de carbonização. ....	26
Figura 9 Carregadeira utilizada na etapa de carregamento do forno .....	27
Figura 10 Carregadeira utilizada na etapa de descarregamento do forno .....	28

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Resultados médios da etapa de carbonização obtidos para cada tratamento.....	48
Tabela 2 Custo do carregamento do forno nos diferentes tratamentos (R\$/t).....	57
Tabela 3 Custo do descarregamento do forno nos diferentes tratamentos (R\$/t).....	58

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Rendimento do harvester na colheita do eucalipto em três comprimentos de tora (m <sup>3</sup> /h trabalhada).....	42
Gráfico 2 Consumo de combustível do harvester na colheita de eucalipto em três comprimentos de tora por hora trabalhada (l/h trabalhada). ....	44
Gráfico 3 Consumo de óleo hidráulico do harvester na colheita de eucalipto em três comprimentos de tora por hora trabalhada (l/h trabalhada). ....	44
Gráfico 4 Consumo de óleo de corrente do harvester na colheita de eucalipto em três comprimentos de tora por hora trabalhada (l/h trabalhada). ....	45
Gráfico 5 Rendimento do trator autocarregável no transporte de eucalipto em três comprimentos de tora e com separação entre toras finas e grossas (m <sup>3</sup> /h.trabalhada).....	46
Gráfico 6 Consumo horário de óleo diesel do trator autocarregável no transporte de eucalipto em três comprimentos de tora (L/h.trabalhada). ....	47
Gráfico 7 Rendimento da operação de carregamento do forno (t/h) nos diferentes tratamentos. ....	49
Gráfico 8 Rendimento da operação de descarregamento do forno (t/h) nos diferentes tratamentos. ....	49
Gráfico 9 Custo fixo horário do harvester e do Autocarregável (R\$/h).....	51
Gráfico 10 Custo fixo médio do harvester e do Autocarregável nos diferentes tratamentos (R\$/m <sup>3</sup> ). ....	52
Gráfico 11 Custos variáveis totais do harvester nos diferentes tratamentos (R\$/h.trabalhada) .....	53
Gráfico 12 Custos variáveis totais do autocarregável nos diferentes tratamentos (R\$/h.trabalhada) .....	54
Gráfico 13 Custo variável médio do harvester e do Autocarregável nos diferentes tratamentos (R\$/m <sup>3</sup> ). ....	54
Gráfico 14 Custos totais da atividade de colheita nos diferentes tratamentos (R\$/h.trabalhada) .....	55
Gráfico 15 Custos totais por metro cúbico da atividade de colheita (R\$/m <sup>3</sup> ).....	56
Gráfico 16 Custos totais por tonelada da atividade de colheita (R\$/t).....	57

Gráfico 17 Custo gerado pela atividade de colheita por tonelada de carvão vegetal para os diferentes tratamentos (R\$/t) .....	58
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT - Associação brasileira de normas técnicas

ABRAF - Associação brasileira de produtores de florestas plantadas

AMS - Associação mineira de silvicultura

BRACELPA - Associação brasileira de celulose e papel

SINDIFER - Sindicato da indústria do ferro

## RESUMO

O presente trabalho foi realizado em áreas de operação de colheita florestal pertencentes à empresa Vallourec & Mannesmann Florestal, na fazenda Itapoã, localizada no município de Paraopeba – MG. Teve como objetivo analisar a estrutura dos custos de produção do sistema de toras curtas operando com três comprimentos de toras sendo com 2,1m, 3,7m e 5,0m e determinar a interferência do aumento do comprimento de tora na produtividade e na qualidade do carvão vegetal produzido. O estudo constituiu-se de uma análise do processo de corte utilizando harvesters, do processo de baldeio da madeira utilizando tratores autocarregáveis e da etapa de carvoejamento em fornos de alvenaria retangulares. De posse dos dados gerados pelas análises técnicas identificou-se a estrutura dos custos, a fim de determinar qual dos tratamentos possui um menor custo final do carvão vegetal. Os resultados mostraram um custo na produção de carvão vegetal inferior ao operar com comprimento de tora de 5,0m, quando comparado com o mesmo sistema operando com comprimentos de tora de 3,7m e de 2,1m. Apesar do sistema de toras curtas apresentar maior custo horário no tratamento com comprimento de tora de 5,0m, o custo por unidade, metros cúbicos e toneladas, são menores devido ao seu maior rendimento horário. Já a variação do comprimento de tora não interferiu na qualidade do carvão produzida.

Palavras Chave: custos. colheita florestal. carvão vegetal. harvester. forwarder. carbonização.

## **ABSTRACT**

This work was carried out in areas of forest harvesting operation which belongs to Vallourec & Mannesmann Florestal, at Itapoã Farm, in Paraopeba-MG. The aim was to analyze the structure of production costs of cut-to-length system operating with these three different lengths of logs 2,1m, 3,7m and 5,0m and to determine the interference of the increase in length of the log in productivity and quality of the charcoal produced. The study consisted in the analysis of the cutting process using harvesters, the process of the wood transportation made by self-loaded tractors (forwarder) and the step of the wood burning in rectangular brickwork kilns. After having the data generated by technical analysis we could identify the cost structure in order to determine which of the treatments has the smallest final cost of the charcoal. The results showed an inferior cost in the charcoal production when working with the length log of 5,0m, compared to the same system working with the length log of 3,7m and 2,1m. In spite of the short logs system requiring more cost per time when using the log length of 5,0m, the cost per unit, cubic meters and tons, are smaller due to their higher performance per time. On the other hand, the variation of the log length did not interfered in the quality of the charcoal production.

Keywords: coasts. forest harvesting. charcoal. harvester. forwarder. wood burning.

## 1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a colheita florestal mecanizada vem sendo muito utilizada em função da redução da dependência de mão de obra, melhoria das condições de trabalho, redução do custo final da madeira posto fábrica/unidades de produção de carvão e da necessidade, por parte das indústrias, de um fornecimento regular e em quantidades cada vez maiores de madeira ou seus derivados.

Os sistemas de colheita mecanizada no Brasil podem ser agrupados em dois grandes grupos: a) sistemas de “toras curtas”, onde todo o processamento da madeira é feito no canteiro de corte; e b) sistemas de “árvores inteiras”, onde a árvore derrubada é arrastada e a madeira posteriormente desdobrada à margem dos carregadores (SEIXAS, 1998).

No sistema de “toras curtas”, os equipamentos mais utilizados no Brasil são o haverster para cortar, desgalhar, descascar e traçar, e o forwarder para a extração das toras. O harvester é um trator florestal capaz de derrubar, desgalhar, traçar e descascar árvores e o forwarder é um trator florestal autocarregável (Machado et. al., 2002).

Como em qualquer atividade, os custos são importantes variáveis para o sucesso da atividade, ou seja, quanto menores forem os custos, maior a probabilidade de se obter sucesso na atividade desenvolvida, desde que a qualidade do produto final seja mantida ou até mesmo melhorada.

Sabe-se que nos processos florestais, a colheita e movimentação da madeira é mais cara do que a sua própria produção. Portanto, é de extrema importância o estudo dos custos da colheita florestal e sua inferência no produto final a fim de determinar qual forma de trabalho gera um menor custo final, possibilitando maior retorno econômico e maior competitividade do produto gerado.

A redução dos custos da colheita está diretamente relacionada com a definição do sistema a ser utilizado, com a escolha dos equipamentos e com a forma de trabalho. O rendimento, ou seja, a produtividade do equipamento, também é um



fator importante na determinação dos custos e está diretamente ligada a escolha do equipamento a ser utilizado.

Como um equipamento só produz ao estar disponível mecanicamente, a disponibilidade mecânica possui um alto peso na geração dos custos, pois quanto maior é a disponibilidade mecânica, maior é a produção e conseqüentemente, maior é a diluição dos custos fixos na produção, reduzindo seu peso por unidade produzida. Um grande setor que utiliza a colheita florestal mecanizada é o setor metalúrgico brasileiro, onde a madeira extraída é carbonizada para a produção de carvão vegetal a ser utilizado nos alto-fornos, e a qualidade deste carvão é afetada pelo sistema utilizado para a extração e processamento da madeira.

A evolução tecnológica da mecanização destas operações passa pelo aumento do comprimento das toras a serem processadas, de modo a aumentar a produtividade e reduzir os custos. (MACHADO, 2000). A seleção de máquinas e equipamentos e o desenvolvimento de sistemas operacionais constituem o grande desafio para a redução dos custos operacionais de colheita e transporte florestal.

Apesar do aumento do comprimento das toras reduzir os custos da colheita, não necessariamente reduz o custo da produção de carvão, podendo até mesmo elevar os custos na atividade de carbonização. A decisão de qual sistema de colheita utilizar e qual a forma em que este sistema será utilizado é geralmente definida pela economicidade. Assim sendo, torna-se necessária a realização de estudos que levem em consideração diferentes formas de operação desse sistema, e seus reflexos na produção, e especialmente na qualidade do carvão vegetal, e não somente o custo de cada sistema.

## 2 OBJETIVOS

Este estudo teve como objetivo geral avaliar os custos do sistema de toras curtas e seus reflexos na produção e na qualidade do carvão vegetal.

Especificamente objetivou:

- Analisar a estrutura dos custos de produção do sistema de toras curtas operando com os comprimentos de toras de 2,1m, 3,7m e 5,0m;
- Determinar a interferência do aumento do comprimento de tora na produtividade e na qualidade do carvão vegetal produzido;
- Determinar qual dos três comprimentos de tora possibilita um menor custo final do carvão vegetal.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 A importância das florestas plantadas no Brasil

A atividade florestal instalou-se no país nos primeiros anos após seu descobrimento, por meio da exploração do pau-brasil, e por muito tempo constituiu-se na principal atividade econômica. Com o desenvolvimento da agricultura, foi relegada a segundo plano na economia brasileira e só a partir da década de 60, com a implementação dos incentivos fiscais, o reflorestamento tornou-se uma atividade em larga escala (SIQUEIRA.1990, citado por BRAMUCCI 2001)

A cobertura florestal do território brasileiro, associada às excelentes condições edafo-climáticas para a silvicultura, confere ao Brasil grandes vantagens comparativas para a atividade florestal (AVILÉS et al.,2005). O setor de florestas plantadas brasileiro possui uma significativa importância para a economia brasileira e para a sociedade em modo geral esta importância é devido a contribuição com importante parcela da geração de produtos, tributos, divisas, empregos e renda, além de ser importante fornecedor de matéria prima para a indústria nacional de base florestal. (ABRAF, 2011).

Alguns macroindicadores dessa importância se baseiam na formação do PIB, na geração de divisas e na contribuição para a melhoria da qualidade de vida da sociedade (AVILÉS et al.,2005). A produtividade florestal brasileira é a maior do mundo com um incremento médio anual de 40,5 m<sup>3</sup>/ha/ano para eucalipto e 36,6 m<sup>3</sup>/ha/ano para pinus (BRACELPA, 2011).

De acordo com Valverde et al. (2003), no que diz respeito às importações, o setor florestal brasileiro apresentou em 1999, a quarta maior de todas as importações, sendo superada apenas pelos setores alimentícios, serviços e metal siderúrgico. Neste mesmo ano, o setor contribuiu com 8,34 % do total de exportações, apresentando um superávit na balança comercial. Já em 2010 as exportações do setor totalizaram US\$ 7,5 bilhões, representando 3,7 % das

exportações brasileiras e apresentando um saldo da balança comercial de US\$ 5,5 bilhões, que representa 27,1% do saldo da balança comercial do Brasil (ABRAF, 2011).

O setor florestal possui uma área plantada de 6,5 milhões de hectares, totalizando 0,76 % do território nacional e 8,4 % da área agricultável do Brasil. Em 2010, o setor produziu um valor bruto de R\$ 51,8 bilhões, contribuiu com R\$ 7,4 bilhões em arrecadação tributária, gerou 4,7 milhões de postos de empregos diretos, indiretos e empregos resultantes do efeito-renda. (ABRAF, 2011).

Além da importância econômica, o setor possui uma grande importância social e ambiental. Em 2010, o setor possuía 3,9 milhões de hectares de florestas nativas sob forma de áreas de preservação permanente (APP), de reserva legal (RL) e de reservas particulares do patrimônio natural (RPPNs). Também em 2010, o setor investiu R\$ 81,5 milhões em programas sociais, onde aproximadamente 2,9 milhões de pessoas foram atendidas e R\$ 20,6 milhões em programas de assistência médica e odontológica, beneficiando 409 mil pessoas em 93 municípios. (ABRAF, 2011).

### 3.2 A indústria siderúrgica a carvão vegetal no Brasil

A siderurgia é um setor econômico de importância histórica no Brasil (BARCELLOS, 2002). A industrialização do ferro teve início em 1587, em São Paulo, com Afonso Sardinha, que utilizava forjas catalãs. Varias dessas forjas foram instaladas em São Paulo e Minas Gerais, no fim do século XVI e durante todo o século XVIII. Entre 1700 e 1756, nas missões jesuítas no Rio Grande do Sul, as forjas catalãs também foram usadas para fabricar cravos, ferraduras e utensílios. (GUIMARÃES NETO, 2005).

Em 1888 foi criada a primeira empresa de ferro a utilizar alto forno a carvão vegetal. Já em 1925, surge a primeira usina integrada na América do sul, a companhia Belgo Mineira. No ano de 1940 é implantado o primeiro programa de reflorestamento tendo como base o eucalipto, visando o suprimento de carvão vegetal para a indústria siderúrgica. Surge, assim, uma forte parceria entre os plantios renováveis e a indústria siderúrgica (WINTER, 2011)

No início da década de 1970, intensificou-se a construção de pequenos alto-fornos em Minas Gerais, em função da expansão da siderurgia mundial (MATARELLI et al., 2001, citado por GUIMARÃES NETO, 2005). No Brasil a produção de ferro-gusa ocorre em dois tipos de instalações: em indústrias que produzem exclusivamente ferro-gusa, conhecidas como guseiras e em siderúrgicas integradas ou semi-integradas onde além do ferro-gusa são produzidos aço e subprodutos. Existem dois importantes polos guseiros, um no Maranhão e Pará, na região Norte, conhecido como Pólo de Carajás, e outro em Minas Gerais, na região Sudeste. (UHLIG et al. 2008).

Em 2006, o Brasil produziu aproximadamente 32,0 milhões de toneladas de ferro gusa, sendo que deste total, aproximadamente 11,0 milhões de toneladas foram produzidas utilizando carvão vegetal (SINDIFER, 2007). Em 2010, o Brasil produziu aproximadamente 25,3 milhões de toneladas de ferro-gusa, dos quais aproximadamente 6,3 milhões de toneladas foram produzidos com a utilização de carvão vegetal e cerca de 19,0 milhões de toneladas a partir do uso de coque siderúrgico. Esta redução foi em função da crise econômica mundial que atingiu o setor em 2008. O país produz, ainda, aproximadamente 1,1 milhão de toneladas de ferroliga utilizando carvão vegetal (AMS, 2011).

O uso de carvão vegetal em substituição ao coque siderúrgico é ambientalmente superior, pois o CO<sub>2</sub> produzido pelo processo siderúrgico é neutralizado durante o crescimento das florestas, além de contribuir para o equilíbrio da balança comercial, já que a totalidade do coque é importado.

### 3.3 A indústria siderúrgica a carvão vegetal em Minas Gerais

Minas Gerais é o maior estado produtor e consumidor de carvão vegetal no Brasil, consome aproximadamente 25,3 milhões de metros cúbicos de carvão por ano. Deste total 70,4 % são consumidos em Minas Gerais. Os plantios destinados para energia no estado totalizaram 77.635 ha em 2011 (AMS, 2011).

De acordo com estudo realizado em 2004 pela AMS, no período de 1991 a 2000, observou-se uma melhoria geral no IDH mineiro. O índice estadual registrou

um crescimento de 10,9 %, passando de 0,697 em 1991, para 0,773 em 2000. Em 129 municípios, 15% do total de municípios mineiros, onde há plantações florestais com fim de exploração predominantemente comercial, foram observados aumentos no índice superiores aos da média do estado. A média do IDH destes municípios passou de 0,631 em 1991, para 0,716 em 2000, representando um crescimento de 13,4% no período, enquanto que a média de crescimento estadual foi, como dito, de 10,9%. Em nenhum daqueles municípios foi observado IDH baixo (menor que o índice estadual) e nove registraram índice de desenvolvimento elevado (acima de 0,8) (AMS, 2004). Em 2010, o setor florestal mineiro, gerou aproximadamente 2,1 milhões de empregos diretos, indiretos e empregos resultantes do efeito-renda, dos quais, aproximadamente 1,1 milhões gerados pela metalurgia a carvão vegetal e 334 mil gerados pela produção e transporte do carvão vegetal (AMS, 2011).

#### 3.4 A colheita florestal no Brasil

No início das atividades florestais no Brasil, poucas empresas utilizavam a mecanização nas operações de colheita. Até a década de 1940, praticamente não havia emprego de máquinas na colheita florestal. Nesse período, os sistemas manuais e semimecanizados foram amplamente utilizados por falta de alternativas, empregando grande contingente de mão-de-obra, tornando as operações onerosas e com alto risco de acidentes (Machado et al, 2008).

A modernização das operações de colheita florestal no Brasil teve início na década de 1970, quando a indústria nacional começou a produzir maquinário de portes leves e médios (SALES 1981, citado por BRAMUCCI, 2001). Na década de 1980 vieram os feller-bunchers de tesoura e de sabre. A partir de 1994, a abertura das importações proporcionou um aumento acentuado da mecanização, fazendo com que algumas das operações fossem realizadas mecanicamente (Machado et al, 2008). Geralmente as empresas registraram ganhos expressivos na eficiência da utilização de mão-de-obra e redução da frequência e gravidade dos acidentes de trabalho. Desde então, verificou-se um contínuo aumento no grau de mecanização no país (BRAMUCCI, 2001).

A evolução da mecanização trouxe progressos para a colheita florestal, como: máquinas com design ergonômico; motosserras mais leves e com menos vibração e ruído; máquinas com cabeçote de corte e acumulador (feller-buncher), que permite fazer feixes para o arraste; e máquinas com cabeçote de corte, acumulador e processador (harvester), que deixa a madeira pronta para o carregamento (Machado et al, 2008). Segundo Santos (1993), citado por Burla (2008), as principais causas de crescente mecanização desta atividade são a busca do aumento da produtividade e a necessidade de redução de custos.

De acordo com Burla (2008), esse processo de mecanização requer investimentos muito altos e, dependendo da forma de condução do sistema, pode haver grande desvalorização do equipamento. Atualmente, nas maiores empresas produtoras de madeira do Brasil são utilizadas as mais modernas tecnologias para a colheita florestal (Machado et al, 2008). Dada a grande quantidade de máquinas e equipamentos de corte e extração disponíveis no mercado, as empresas podem formar vários conjuntos de colheita aptos para serem empregados, cabendo a cada uma delas optar por aquele que seja mais adequado às suas peculiaridades (JACOVINE et al., 2001).

### 3.5 Colheita florestal mecanizada

A colheita florestal pode ser definida como um conjunto de operações no maciço florestal, que visa preparar e levar a madeira até o local de transporte, utilizando técnicas e padrões estabelecidos, com a finalidade de transformá-la em produto final. A colheita, parte econômica mais importante do ponto de vista técnico-econômico, é composta pelas etapas de corte (derrubada, desgalhamento e processamento ou traçamento); desgalhamento, quando executado no campo; e extração e carregamento (Machado et al, 2008).

Segundo Conway (1976), citado por Burla (2008), colheita florestal pode ser definida como o trabalho executado desde o preparo das árvores para o abate até o transporte para o local de uso final. Dependendo da situação, a operação de colheita

envolve também o planejamento da operação, a medição, o recebimento no pátio da indústria e a comercialização da madeira.

Os sistemas de colheita mecanizada no Brasil podem ser agrupados em dois grandes grupos: a) sistemas de "toras curtas", onde todo o processamento da madeira é feito no canteiro de corte; e b) sistemas de "árvores inteiras", onde a árvore derrubada é arrastada e a madeira posteriormente desdobrada à margem dos carregadores (SEIXAS, 1998).

Segundo Tanaka (1986), citado por Burla (2008), a colheita florestal apresenta-se como o item de maior custo das atividades, podendo representar, aproximadamente, 80 % do custo do metro cúbico de formação da floresta em condições de corte.

De acordo com a classificação da Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), os sistemas de colheita podem ser classificados quanto a forma da madeira na fase de extração, ao local onde é realizado o processamento final e o grau de mecanização. Em muitos trabalhos adotam-se os critérios quanto a forma da madeira na fase de extração: sistemas de toras curtas, longas e árvores inteiras (Machado et al, 2008).

Para que se obtenha a maior eficiência possível de um sistema de colheita de madeira, o levantamento das condições encontradas no ambiente de trabalho é fundamental. A análise dos dados coletados permitiria determinar os limites operacionais para cada tipo de equipamento a ser utilizado, bem como definir a metodologia operacional mais adequada na viabilização do sistema como um todo. (BRAMUCCI, 2001).

A escolha das máquinas e dos equipamentos para a realização da colheita florestal mecanizada deve levar em consideração vários fatores, como topografia do terreno, declividade, solo, clima, comprimento da madeira, incremento da floresta e uso da madeira, entre outros, mas sua seleção deve ser baseada em uma criteriosa análise técnica e econômica. (MACHADO, 1985)



### 3.5.1 Harvester

Trata-se de uma máquina autopropelida, constituída por um conjunto motriz de alta mobilidade dentro da floresta e boa estabilidade, um braço hidráulico e um cabeçote processador (AMABILINI, 1991, citado por BRAMUCCI 2001). É composta da unidade de potencia (trator), lança telescópica e unidade processadora (SILVEIRA,2001, citado por BURLA 2008).

É uma máquina que pode executar, simultaneamente, as operações de derrubada, desgalhamento, traçamento, descascamento e empilhamento da madeira. Composta por uma máquina-base de pneus ou esteira, uma lança hidráulica e um cabeçote (Machado et al, 2002).

Malinovski & Malinovski (1998) definem um harvester como um trator florestal derrubador, desgalhador, traçador e empilhador, composto por uma máquina base de pneus ou esteiras, uma grua e um cabeçote, na qual a movimentação e o acionamento dos dispositivos que compõem o cabeçote são realizados pelo operador, que impunha um joystick.

O cabeçote é constituído de braços acumuladores , que tem como finalidade segurar e levantar a árvore, após o corte, a árvore é posicionada na horizontal e movimentada por rolos dentados ora para a direita, ora para a esquerda, de tal forma que o descasque e o desgalhamento sejam realizados por uma estrutura metálica de corte. Então, se iniciam o seccionamento e o empilhamento, de acordo com a finalidade da madeira colhida (LIMA & LEITE, 2008).

Na maioria dos sistemas de “toras curtas”, o Harvester é a principal máquina utilizada no abatimento e no processamento, que abrange as etapas de desgalhamento, descascamento em alguns casos e no corte em toras de comprimento predeterminado, deixando as toras no ponto de serem recolhidas. (BURLA, 2008).

O Harvesters produzem, em média, de 15 a 22 m<sup>3</sup>/h, já incluídas as operações de corte, desgalhamento, descascamento e traçamento. A situação ideal para operação deste tipo de máquina é encontrada em florestas com volume entre 0,25 e 0,35 m<sup>3</sup> por árvore, em espaçamentos abertos (por exemplo, 3 x 3 m ), não sendo indicado o uso para corte em florestas com produções abaixo de 150 m<sup>3</sup>/ha.

São máquinas adequadas para operações com toras desde 2,0 até 6,0 m. de comprimento (BURLA, 2008).

### 3.5.2 Trator florestal autocarregável (Forwarder)

O transporte é um dos pontos críticos da colheita florestal (SEIXAS, 1983, citado por MINETTE, 1988). Com o objetivo de minimizar estes problemas, iniciou-se no Brasil, em 1977, um projeto de desenvolvimento do protótipo da primeira máquina para transporte primário de madeira, o trator florestal transportador (Forwarder), que entrou no mercado em 1979 (MINETTE, 1988)

Atualmente, existem várias empresas que utilizam este trator nas operações florestais (MINETTE, 1988). Máquina com grua hidráulica e caçamba, também conhecida como trator florestal transportador, pode ser dotada de sistemas de rodados de pneus em tandem ou esteiras, com chassi articulado, possibilitando a diminuição do raio de giro nas manobras dentro do talhão (Machado et al, 2008).

Faz-se o seu carregamento por um braço hidráulico articulado e telescópico, acoplado a uma garra com movimento de abrir e fechar. Sua função é retirar a madeira de dentro dos talhões, levando-a para as margens das estradas. O seu uso é mais comum em sistemas mecanizados, em que o corte e processamento das árvores são realizados por um harvester (Lima & Leite, 2008).

Segundo Seixas (2002), citado por Malinovski (2007), os forwarders foram projetados para trabalhar no sistema de toras curtas. Apesar de não serem máquinas velozes, são muito versáteis e possuem capacidade de superar as condições adversas encontradas no campo, com bom desempenho em terrenos com declividade de até 30 %. É um equipamento que necessita de florestas altamente produtivas e ser operado por operadores qualificados, devido ao seu alto valor de aquisição (MALINOVSKI, 2007).

O Forwarder é uma máquina projetada para ser utilizada no sistema de toras curtas, executando a extração de madeira da área de corte para a margem da estrada ou para o pátio intermediário. Possui chassi articulado com tração do tipo

4 x 4, 6 x 6 ou 8 x 8, capacidade de carga de 10 a 19 t, além de uma grua hidráulica usada no carregamento e descarregamento (Machado et al, 2008).

No mercado encontram-se disponíveis várias marcas e modelos, com o peso variando entre 9 e 12 t e potência do motor entre 70 e 120 KW. (MACHADO, 2008). A distância dos deslocamentos, carregado e vazio, influencia o rendimento do seu ciclo operacional, mas o carregamento e o descarregamento são elementos do ciclo operacional mais importantes por consumirem até 85% do tempo total. (Seixas, 2008). O Forwarder é um equipamento com custo de aquisição elevado, que exige florestas de boa produtividade e operador qualificado, com as distâncias médias de extração situando-se entre 200 e 300 metros e rendimentos operacionais em torno de 30 m<sup>3</sup>/h (SEIXAS, 1987; SOUZA et al., 1988, citado por Seixas, 2008).

### 3.6 O processo de carbonização

O carvão vegetal é produzido a partir da madeira através do processo de carbonização, que consiste no tratamento térmico da madeira, numa atmosfera controlada de oxigênio (ARRUDA 2005). A pirólise da madeira é um dos fenômenos mais antigos de que se tem conhecimento, e através da sua aplicação controlada, tem sido possível a obtenção de uma série de produtos benéficos ao homem. O carvão vegetal é um deles (BRITO, 1990).

O carvão vegetal é obtido na pirólise, mediante a ação do calor que elimina a maior parte dos componentes voláteis da madeira. Vem, daí, o nome que muitas vezes se dá ao processo de “destilação seca da madeira” e durante o processo ocorre uma concentração de carbono no carvão vegetal. Vem, daí, outro termo usado para a identificação do processo que é a “carbonização da madeira”. Essa concentração de carbono ocorre graças a eliminação da maior parte do hidrogênio e oxigênio da madeira (BRITO, 1990).

De maneira geral, a madeira utilizada na carbonização deve apresentar forma retilínea, diâmetro entre 10 e 20 cm, e umidade entre 20 e 30 % (base seca). Lenhas com alta umidade originam carvões friáveis e quebradiços, provocando

considerável elevação no teor de finos durante o manuseio e o transporte (VALENTE, 1986, citado por ANDRADE, 1989).

Os sistemas de fabricação de carvão vegetal utilizados no Brasil são na sua maioria bastante rudimentares, sendo a maioria do carvão produzido, proveniente de fornos de alvenaria, nos quais não há controle da temperatura de carbonização, nem da recuperação dos produtos voláteis que são lançados na atmosfera (ALMEIDA, 1982; VELLA, 1989, citado por BARCELLOS 2002).

Segundo Arruda (2005), os tipos de fornos utilizados para a carbonização são: caiera ou meda, forno rabo-quente, forno de encosta, forno de superfície, forno de superfície com câmara externa, forno retangular, fornos metálicos por batelada e fornos metálicos contínuos (retortas).

Para viabilizar a mecanização, tanto do ponto de vista econômico quanto operacional, foi necessária a construção de fornos retangulares, que chegam a produzir volume de carvão equivalente a cinco fornos de superfície (NOGUEIRA et al., 1999). Os fornos retangulares possuem estrutura de concreto e são constituídos em alvenaria com tijolo comum, revestidos com massa produzida a partir da mistura de areia, argila e água (ARRUDA, 2005). Este tipo de forno apresenta grande capacidade volumétrica, variando de 38 a 200 st. São construídos para permitir a carga e descarga mecanizadas. O tempo de residência da lenha no forno é da ordem de 12 a 15 dias para a carbonização e resfriamento (RAAD, 2000, citado por GUIMARÃES NETO, 2005).

A operação de carbonização possui o mesmo princípio do forno de superfície com câmara externa. O calor necessário para carbonizar a lenha é gerado nas câmaras de combustão externa e, depois, lançado no interior do forno por meio de canais, com saída na base interna, permitindo a transferência de calor com a lenha enforada. O carregamento do forno é feito com pás carregadeiras, equipadas com garras especiais, e a lenha é colocada na posição horizontal, no sentido maior do forno, facilitando seu manuseio e empilhamento. O resfriamento do forno é natural, com aplicação de barrela, que consiste numa mistura de areia, argila e água, com a função de suprimir as fissuras e trincas, impedindo a entrada de ar no forno. O descarregamento do carvão é realizado com pá carregadeira convencional (ARRUDA, 2005).

### 3.7 Qualidade do carvão vegetal

O índice técnico mais importante do processo de carbonização é o rendimento gravimétrico, que é a relação percentual de peso entre o produto (carvão anidro) e a matéria prima (madeira anidra), expresso em porcentagem (BARCELLOS, 2007).

As propriedades do carvão vegetal estão diretamente relacionadas às características físicas, químicas e anatômicas da madeira utilizada na sua produção. Entre todas as características físicas da madeira, a densidade básica é a que tem maior influência sobre a qualidade do carvão e, entre as características químicas, o destaque é para o teor de lignina (TURGILIO & SILVA, 2001).

Segundo Oliveira (1988), citado por Barcellos (2007), o rendimento gravimétrico possui correlação positiva com o teor de lignina total e teor de extrativos; correlação positiva com a massa específica básica da madeira e correlação negativa entre a largura e o diâmetro do lúmen das fibras.

O carbono fixo pode ser definido como a quantidade de carbono presente no carvão, expresso em porcentagem. O rendimento em carbono fixo apresenta relação diretamente proporcional aos teores de lignina, extrativos e massa específica da madeira, e inversamente proporcional ao teor de holocelulose. Apresenta correlação direta com o teor de carbono fixo presente na madeira e com o rendimento gravimétrico (OLIVEIRA, 1988, citado por BARCELLOS, 2007).

Os materiais voláteis podem ser definidos como substâncias que são desprezadas da madeira, como gases, durante a carbonização e/ou queima do carvão. Os fatores que influenciam os teores de materiais voláteis no carvão são: temperatura de carbonização, taxa de aquecimento e composição química da madeira utilizada no processo (CARMO, 1988, citado por BARCELLOS, 2007).

O teor de cinzas pode ser definido como a quantidade de cinzas presente no carvão, expresso em porcentagem.

A cinza é um resíduo mineral proveniente dos componentes minerais do lenho e da casca. Quanto maior a proporção de materiais minerais na madeira, maior a produção de cinzas no carvão (COTTA, 1996, citado por BARCELLOS, 2007). Altos teores de cinzas, como sais que estão presentes na sua composição,

podem prejudicar a produção de ferro-gusa, ferro-ligas e metais não ferrosos (BARCELLOS, 2007).

No carvão vegetal, a densidade é uma propriedade bastante importante, pois determina o volume ocupado pelo termo-redutor nos aparelhos de redução ou de gaseificação. Portanto, a densidade do carvão vegetal deve ser a maior possível.(PIMENTA, 2000). A densidade varia de acordo com suas características de granulometria, e presença de trincas, sendo uma característica muito importante na qualidade, pois afetará as demais propriedades do carvão (MENDES et al., 1982).

A resistência mecânica do carvão é de máxima importância, devido às numerosas operações de manuseio e transporte que o produto sofre durante seu trajeto dos fornos de carbonização até os altos-fornos. Com os choques térmicos que ocorrem durante os processos metalúrgicos, além do próprio peso da carga metálica, ao se utilizar carvões de baixa resistência, umidade elevada e alto teor de voláteis estes tendem a gerar finos com mais facilidade acarretando problemas de permeabilidade da carga (PIMENTA, 2000).

A friabilidade é a propriedade do carvão vegetal relacionada à susceptibilidade do produto em formar finos quando submetido à abrasão e choques mecânicos, está relacionada com a umidade, o diâmetro e o comprimento da madeira a ser carbonizada. Normalmente, teores altos de umidade estão associados a altas velocidades de expansão de gases durante a carbonização, o que provoca rupturas generalizadas na estrutura do carvão resultante, aumentando sua friabilidade. Grandes diâmetros na madeira a ser carbonizada também tendem a gerar carvões mais quebradiços (PIMENTA, 2000).

Sabe-se que, sendo o carvão vegetal altamente friável, devido a fatores como processo de fabricação, estocagem, peneiramento, transporte e outros, a geração de finos desde a fabricação até sua utilização é da ordem de 25%, distribuídos da seguinte forma:

- nas carvoarias..... 3,7%
- carregamento e transporte..... 5,8%
- armazenamento..... 6,3%
- peneiramento..... 9,4%

(OLIVEIRA, 1977, citado por COUTINHO, 1988).

O tamanho médio do carvão está usualmente relacionado com a permeabilidade da carga no alto-forno. Granulometrias muito baixas acarretam cargas com baixa permeabilidade, prejudicando a eficiência das reações metalúrgicas (PIMENTA, 2000). A granulometria é um fator básico na permeabilidade da carga dentro do alto-forno. Há indicações de que o calibre médio do carvão deve ser o triplo do minério para permitir a máxima vazão de gases sem perigo de fluidização do redutor (BRITO, 1993). Dimensões maiores de um alto-forno exigem uma granulometria maior do carvão (PIMENTA, 2000).

Algumas características físicas e químicas são importantes para a utilização do carvão vegetal na siderurgia e devem estar dentro da faixa desejável para este fim, como demonstrado na tabela abaixo:

<b>Item</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor preferencial para siderurgia</b>
<b>Carbono Fixo</b>	%	>75 - <80
<b>Materiais Voláteis</b>	%	25 Max.
<b>Umidade</b>	%	4 Max.
<b>Cinzas</b>	%	< 1,0
<b>Enxofre</b>	%	0,03 Max.
<b>Resistência a compressão</b>	Kg/cm <sup>3</sup>	> 30
<b>Faixa Granulométrica</b>	mm	40 a 50
<b>Densidade</b>	Kg/m <sup>3</sup>	> 250 Kg

(Santos, 2008)

### 3.8 Custos

Custo pode ser definido por "toda e qualquer aplicação de recursos, sob diferentes formas e expressa em seu valor monetário, para a produção e distribuição

de mercadorias (ou prestação de serviços) até o ponto em que se possa receber o preço convencionado" (LIMA, 1979, citado por TIMOFEICZYK JÚNIOR, 1998).

De acordo com Silva et.al, 2005, os custos consistem nos dispêndios efetuados por uma firma, nos recursos empregados para produzir o seu produto. Segundo Bornia (1995) e Welsch (1985), citado por Lopes et. al., 2009, os custos podem ser fixos ou variáveis. São considerados custos fixos aqueles que não se alteram com a variação do volume da produção da fábrica. Já, os custos variáveis crescem ou decrescem com o nível de produção.

O custo total de produção pode ser definido pelo somatório dos custos fixos e dos custos variáveis de determinada atividade. Segundo LEFTWICH (1991), citado por Timofeiczuk Júnior, 1998, o custo total depende do tamanho e do nível de produção. Os custos na empresa florestal pode ser dividido em salários, encargos sociais e benefícios, depreciação, juros, material, terceiros, riscos e impostos (SILVA et. al., 2005).

Os custos com salários são provenientes do pagamento de mão-de-obra, sendo mais comumente utilizado os fixos e pagos periodicamente. Já os custos com encargos sociais e com benefícios se destinam a promover segurança e bem-estar social e estão diretamente ligados aos custos de salários, podendo representar entre 50 e 100% do seu valor. Os encargos dividem-se em obrigatórios (encargos sociais) e voluntários (benefícios). Os custos com depreciação correspondem aos custos provenientes do uso de bens que não são consumidos em um ano.

As causas para que existam os custos de depreciação são a utilização da máquina que exige reposições de peças, tempo de utilização, e obsolescência. Os custos de juros são os pagamentos pelo uso do capital, próprio ou de terceiros. Estes custos dividem-se em custos juros reais que são provenientes da utilização de capital externo e os juros calculados, que são proveniente da utilização do capital próprio da empresa. Os custos de material são aqueles gerados pelo consumo de bens no período determinado. Os custos de terceiros representam o pagamento às firmas que prestam serviço à empresa florestal (SILVA et. al., 2005).



## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Local de estudo

O presente trabalho foi realizado em áreas de operação de colheita florestal pertencentes a empresa Vallourec & Mannesmann Florestal, na fazenda Itapoã, localizada no município de Paraopeba – MG, situado a 19°18'11" de latitude Sul, 44°30'17" de longitude Oeste, e com altitudes entre 730 e 750 metros. Os povoamentos florestais são do gênero *Eucalyptus*, na sua maioria clones, tendo como finalidade fornecer matéria-prima para produção de carvão vegetal.

### 4.2 Coleta dos dados

Neste estudo foram avaliadas as operações de colheita e transporte de madeira no sistema de toras curtas a carbonização e as propriedades do carvão vegetal produzido. Após estas análises, foram determinados os custos do processo, levando em consideração dados obtidos nas etapas anteriores.

Durante o estudo foram coletados dados oriundos de 18 turnos de trabalhos de 9 horas para o harvester, 54 turnos de trabalhos de 9 horas cada para o autocarregável e 36 ciclos para a carbonização. Os equipamentos foram analisados trabalhando com três diferentes comprimentos de tora, 2,1m, 3,7m e 5,0m. Primeiramente, foi feito um levantamento das características técnicas e das condições de uso dos conjuntos mecanizados. Em seguida, foi determinada a produtividade dos equipamentos trabalhando nas diferentes situações e utilizando o processo de separação de toras “finas” e “grossas”. Tal processo é utilizado atualmente na V&M Florestal e consiste na separação do terço inferior da árvore como lenha “grossa” e os dois terços superiores como lenha “fina”.

### 4.3 Identificação das operações

Os equipamentos trabalharam sempre em situações análogas de topografia, produtividade florestal e tipo de solo, para possibilitar perfeita comparação entre os processos em estudo. Foram determinados os custos operacionais e de produção dos conjuntos mecanizados, incluindo os rendimentos e custos da mão-de-obra envolvida. Os dados de custo operacional dos equipamentos foram fornecidos pela empresa V&M florestal, baseado em série histórica existente.

Para o presente estudo, foi utilizado um clone híbrido natural de *Eucalyptus urophylla*, numeração MN463, com idade de 8 anos, oriundo de um talhão comercial com espaçamento 3 x 3 m, em relevo levemente ondulado ( Figuras 1 e 2).



Figura 1 Vista geral do talhão utilizado para o estudo

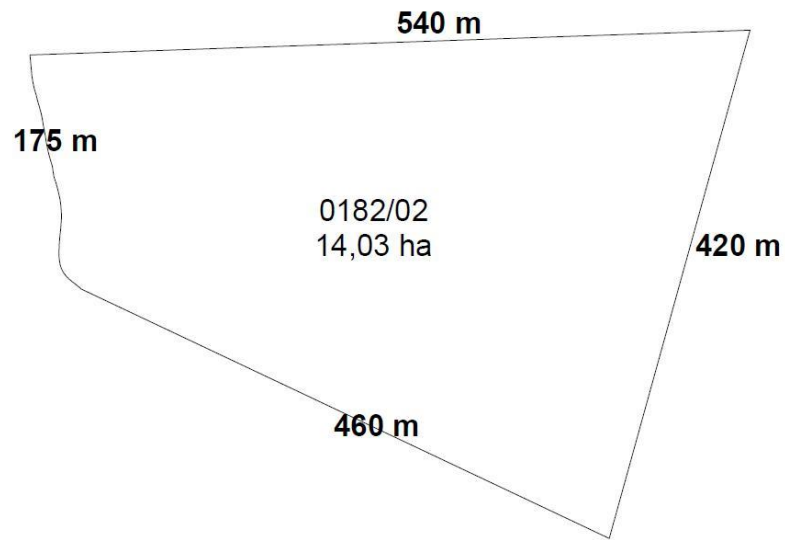


Figura 2 Mapa do talhão utilizado no estudo

As etapas de corte e baldeio foram realizadas entre os meses de novembro e dezembro de 2010, e a etapa de carbonização entre os meses de setembro a novembro de 2011. O trabalho foi conduzido em três etapas, como demonstrado na Figura 3.

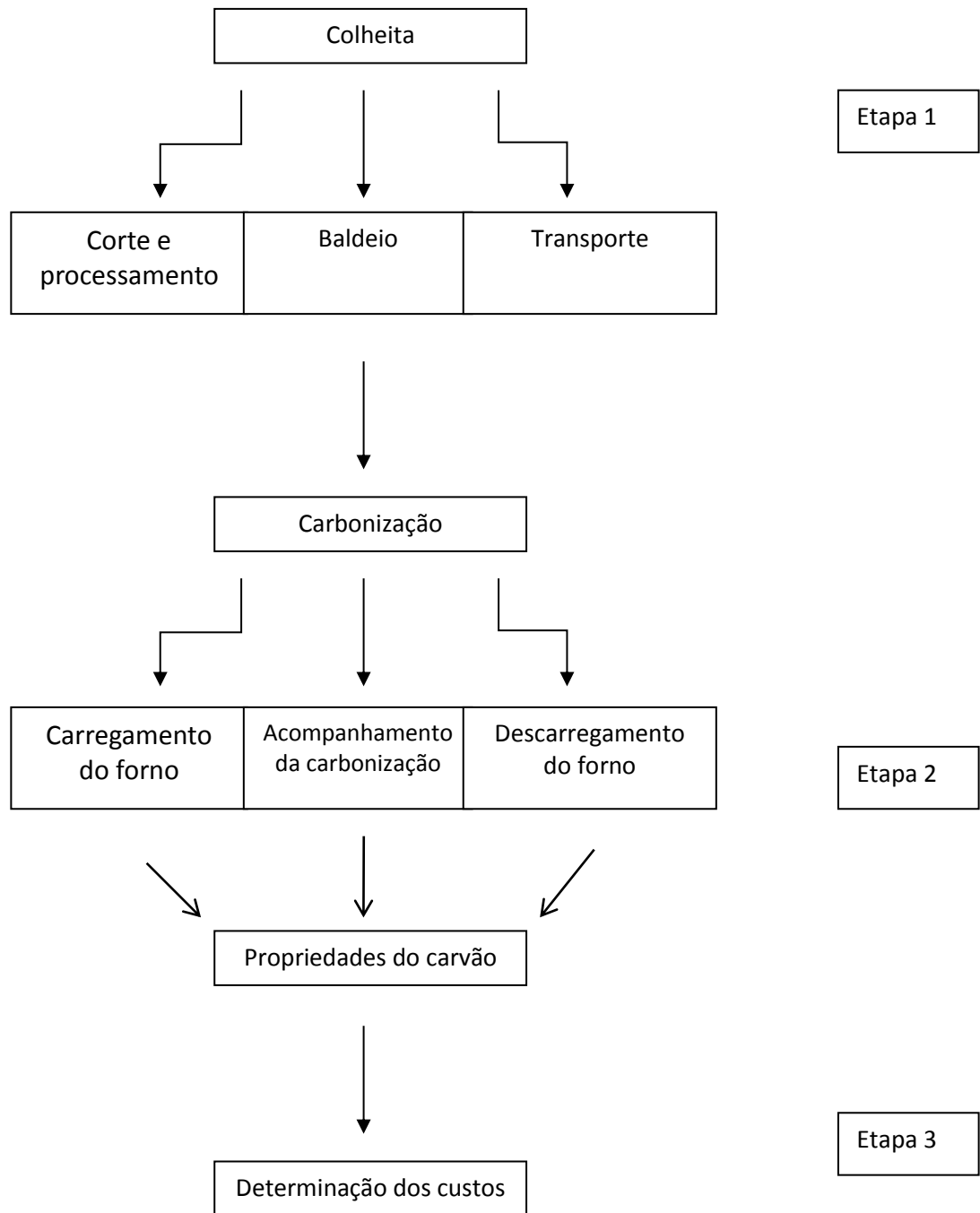


Figura 3 Fluxograma do trabalho desenvolvido

### 4.3.1 Colheita e transporte da madeira

Foram analisadas separadamente três etapas, o corte e o processamento da madeira no campo, o baldeio da madeira para a borda do talhão e o transporte da madeira para a planta de carbonização.

#### 4.3.1.1 Corte e processamento da madeira no campo

Para o corte e o processamento da madeira no campo foram utilizados Harvesters. Os equipamentos utilizados eram compostos por uma máquina base, marca Caterpillar, modelo 320D L, com potência líquida de 138 HP, e por um cabeçote marca Komatsu Forest 370e (Figura 4).



Figura 4 Harvester utilizado para o corte e processamento da madeira

(Fonte: <http://www.flickr.com/photos/gustavopcastro/6355123601/>)

As máquinas foram utilizadas executando as atividades de corte, desgalhamento e seccionamento nos três comprimentos determinados (2,1m, 3,7m e 5,0m), separando em toras “finas” e “grossas”. Nesta etapa, foram mensurados o volume de madeira cortada, utilizando o computador de bordo do equipamento, as horas efetivamente trabalhadas, o consumo de óleo diesel, o consumo de óleo lubrificante e o consumo de óleo de corrente, valores estes utilizados na composição dos custos de produção.

#### 4.3.1.2 Baldeio

Para a realização do baldeio do material até a periferia do talhão foram utilizados tratores autocarregáveis marca Valtra, modelo BH 180, (Figura 5). Nesta etapa, foram mensurados o volume de madeira transportada, utilizando-se um fator de cubicação para cada comprimento de tora, (este fator foi determinado por amostragem das cargas transportadas), as horas efetivamente trabalhadas e o consumo de óleo diesel, valores estes utilizados na composição dos custos de produção. A partir desta etapa, o número de tratamentos analisados foi duplicado devido à separação entre toras classificadas como “grossas” e toras classificadas como “finas”, realizada na etapa anterior.



Figura 5 Trator florestal auto carregável Valtra BH 180 utilizado na etapa de baldeio (Fonte: [www.tmo.com.br](http://www.tmo.com.br))

#### 4.3.1.3 Transporte da madeira até a planta de carbonização

O transporte da madeira até os boxes para a carbonização foi realizado com caminhões autocarregáveis marca Volkswagen modelo VW 24250 6X2, Figura 6. Nesta etapa foi mensurada apenas a massa transportada, utilizando uma balança rodoviária. Em função desta ser uma operação terceirizada, o custo foi gerado através do valor pago pelo volume inventariado e monitorado através dos valores mensurados pela balança rodoviária.



Figura 6 Caminhão auto carregável utilizado na etapa de transporte da madeira para a planta de carbonização (Fonte: [www.tmo.com.br](http://www.tmo.com.br))

#### 4.3.2 Carbonização

No processo de carbonização foram analisadas três etapas, sendo, o carregamento do forno, o acompanhamento da carbonização e o descarregamento. Também foram realizadas análises físicas e químicas do carvão vegetal produzido.

Foram utilizados nessa etapa 6 fornos retangulares modelo FR 230, cuja capacidade máxima é de 230 st e a mínima de 160 st. A dimensões dos fornos utilizados são 14,31m de comprimento, 4,5m de largura e 2,85m de pé direito (Figuras 7 e 8).





Figura 7 Vista lateral do forno FR 230 utilizado na etapa de carbonização.



Figura 8 Vista frontal do forno FR 230 utilizado na etapa de carbonização.

#### 4.3.2.1 Carregamento do forno

Para o carregamento do forno foi utilizada pá carregadeira marca Volvo, modelo L60f, adaptada com uma grua especial TMO (Figura 9). Na etapa de carregamento do forno, foram mensuradas as horas trabalhadas e a massa de madeira movimentada para a composição dos custos, devido a esta operação ser terceirizada e o custo ter sido gerado através de um valor pago por hora trabalhada.



Figura 9 Carregadeira utilizada na etapa de carregamento do forno

#### 4.3.2.2 Descarregamento do Forno

Para o descarregamento do forno foi utilizada pá carregadeira marca Volvo, modelo L60f, adaptada com uma balança para a determinação da massa de carvão descarregada (Figura 10).



Figura 10 Carregadeira utilizada na etapa de descarregamento do forno

Os fornos foram abertos quando a temperatura média (acompanhada com o auxílio do perfil térmico) atingiu 60°C, processo atualmente utilizado pela empresa na sua produção comercial. A massa de tiço gerada também foi mensurada utilizando a balança rodoviária.

O armazenamento do carvão foi efetuado em uma área previamente demarcada para cada fornada e coberto com lona, evitando umidade. O tempo total de descarregamento foi determinado pela abertura da porta do forno até a completa retirada do carvão.

Na etapa do descarregamento do forno, foram mensuradas as horas trabalhadas, a massa de carvão vegetal descarregada e a massa de tiço gerada no processo, devido a esta operação ser terceirizada e o custo ter sido gerado através do valor pago por hora trabalhada.

#### 4.3.2.3 Análise da qualidade do carvão vegetal

O carvão utilizado para as análises químicas e físicas foi coletado ao longo do interior do forno, utilizando uma pá de cabo longo, como determinado pela norma da ABNT, NBR 6923/1981. Para cada forno, foram coletadas amostras brutas de

200 litros. Estas análises foram realizadas no centro de pesquisa da V&M Florestal (CAPEF), de acordo com as normas técnicas da ABNT.

#### 4.3.2.4 Rendimento gravimétrico

Os rendimentos gravimétricos foram determinados utilizando a equação 1, descrita por PIMENTA (2000):

$$RG = PC \div PM \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

em que:

RG = rendimento gravimétrico (%);

PC = peso do carvão produzido base seca (Kg); e

PM = peso da madeira enfiada, base seca (Kg).

#### 4.3.2.5 Rendimento em carbono fixo

O rendimento em carbono fixo foi determinado utilizando a Equação 2 utilizada por ANDRADE (1989).

$$RCF (\%) = \frac{RG \times CF}{100} \quad \text{Equação 2}$$

em que:

RCF = rendimento em carbono fixo (%);

RG = rendimento gravimétrico na forma decimal; e

CF = teor de carbono fixo (%).

#### 4.3.2.6 Teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado de acordo com a norma da ABNT, NBR 8112/1986. Para essa determinação, a amostra do material foi levada para uma mufla previamente aquecida a  $600\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$  por um período de 6 horas até a sua completa calcinação. A amostra foi então retirada e resfriada em um dessecador, sendo então, pesada. A equação utilizada para o calculo do teor de cinzas foi a seguinte:

$$CZ = Ms \div Mr \times 100 \qquad \text{Equação 3}$$

em que:

CZ = teor de cinzas no carvão (%);

Mr = massa do resíduo (cinzas), em g;

Ms = massa da amostra seca em estufa, em g.

#### 4.3.2.7 Materiais voláteis

O teor de materiais voláteis foi determinado de acordo com a norma da ABNT, NBR 8112/1986. Para essa determinação, a amostra do material foi levada a mufla, previamente aquecida a  $950\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Inicialmente, colocou-se o cadinho tampado, com 1 g da amostra do material, na porta da mufla, deixando-o por três minutos. Depois o cadinho foi colocado no interior da mufla e a porta fechada por oito minutos. A amostra foi retirada e resfriada em dessecador, sendo então, pesada. A equação utilizada para o calculo do teor de materiais voláteis foi a equação 4:

$$MV = (Ms - Mv) \div Ms \times 100 \qquad \text{Equação 4}$$

em que:

MV = teor de materiais voláteis (%);

Ms = massa inicial da amostra seca em estufa, em g;

Mv = massa final da amostra, em g.

#### 4.3.2.8 Teor de carbono fixo

O teor de carbono fixo foi determinado de acordo com a norma da ABNT, NBR 8112/1986. A equação utilizada para o cálculo do teor de carbono fixo foi 5:

$$CF = 100 - (CZ + MV)$$

Equação 5

em que:

CF = teor de carbono fixo (%);

CZ = teor de cinzas (%);

MV = teor de materiais voláteis (%).

#### 4.3.2.9 Granulometria

A análise granulométrica foi realizada de acordo com a norma da ABNT NBR 7402/1982. Primeiramente, foram colocados 10 Kg de carvão na peneira superior do equipamento vibratório. Em seguida, o equipamento foi ligado durante 5 min e, então, cada fração do carvão, retida nas respectivas peneiras, foi pesada e calculadas as percentagens que cada massa representava da massa inicial. A equação utilizada para a determinação da granulometria foi a equação 6:

$$TM = (B(a - c) + C(b - d) + \dots + L(k - m) + 100 \times 1) \times 0,005$$

Equação 6

em que:

TM= tamanho médio das partículas (mm);

a,b,c,d,...k,l,m. = abertura das malhas (mm);

A,B,C,D,...,K,L,M. = percentagens acumuladas (%).

#### 4.3.2.10 Resistência mecânica

A resistência mecânica do carvão foi determinada pelos índices de quebra e abrasão, utilizando os métodos de queda e de tamboramento. A realização destes testes foi de acordo com as normas da ABNT NBR 7416/1984 e NBR 8740/1985.

Para a realização do teste de queda foram separados 10 Kg de carvão proporcionalmente às frações granulométricas da amostra. Em seguida, foram colocados no equipamento de ensaio de queda e elevado a uma altura de 1,83 m. Ao atingir a altura determinada, o material foi submetido a queda livre. O procedimento de queda foi repetido por três vezes. Por fim, o material foi submetido a um teste granulométrico, de acordo com a norma da ABNT NBR 7402/1982. A equação utilizada para a determinação do índice de quebra por queda foi a 7:

$$IQ = (1 - (f \div F)) \times 100$$

Equação 7

em que:

IQ = índice de quebra por queda (%);

f = fragmento médio após o ensaio;

F = fragmento médio antes do ensaio.

Para a realização do teste de tamboramento, foram separados 10 Kg de carvão, proporcionalmente às frações granulométricas da amostra. Em seguida, foram colocados no interior do tambor do equipamento de ensaio e submetidos a 150 rotações. Por fim, o material foi submetido a novo teste granulométrico de acordo com a norma da ABNT NBR 7402/1982.

A equação utilizada para a determinação do índice de quebra por tamboramento foi a 8:

$$IT = (1 - (f \div F)) \times 100 \quad \text{Equação 8}$$

em que:

IT = índice de quebra e abrasão por tamboramento (%);

f = fragmento médio após o ensaio;

F = fragmento médio antes do ensaio.

#### 4.3.2.11 Poder calorífico superior

O poder calorífico superior foi estimado utilizando a fórmula de Goutal (Mendes et al., 1982, citado por Sater et al., 2011), expressa pela equação 9.

$$PCS = 82CF + (MV \times A) \quad \text{Equação 9}$$

em que:

PCS = Poder calorífico superior (Kcal/Kg);

CF = teor de carbono fixo (%);

MV = teor de materiais voláteis (%);

A = coeficiente dado pela relação  $MV/(MV+CF)^*$

\*

$MV/(MV+CF)^*$	A
< 0,05	150
0,05 - 0,099	145
0,1 - 0,149	130
0,15 - 0,199	117
0,2 - 0,249	109
0,25 - 0,299	103
0,3 - 0,359	96
0,35 - 0,399	89
> 0,4	80



#### 4.4 Determinação dos componentes de custos das operações mecanizadas

Para a determinação dos custos foi utilizado uma planilha fornecida pela empresa (Apêndice A), e que considera os custos fixos e variáveis, contendo dados sobre a disponibilidade mecânica e eficiência operacional que foram obtidos baseando-se em uma série histórica da empresa. A produção por hora efetiva de trabalho e o consumo de combustível foram obtidos por mensuração em campo.

##### 4.4.1 Custos Fixos totais da colheita (CF)

Para a determinação dos custos fixos para o harvester e para o autocarregável foi utilizado o custo anual de depreciação e juros, que consiste nos gastos anuais com juros e do custo anual de depreciação linear do equipamento, acrescido do custo de mão de obra dos operadores. Este método é utilizado atualmente pela empresa. O custo anual de depreciação e juros foi calculado utilizando a equação 10:

$$CADJ = \frac{VA \times \left(1 + \frac{i}{100}\right)^{\left(VU \times \frac{i}{100}\right)}}{\left(1 + \frac{i}{100}\right)^{(VU-1)}} \quad \text{Equação 10}$$

em que:

CADJ = custo anual de depreciação e juros (R\$/ano)

VA = valor de aquisição do equipamento (R\$);

i = taxa de Juros nominal (%);

VU = vida útil do equipamento (anos).

Para efeito de cálculo, foram considerados:

i = 12% a.a.;

VU = 20.000 h ou 4,64 anos.

Os valores para taxa de juros e para vida útil dos equipamentos foram aqueles atualmente utilizados pela empresa. Para o cálculo do custo de produção foi utilizada a equação 11, que consiste no custo anual do capital investido, dividido pelas horas efetivamente trabalhadas por ano.

$$CHC = CADJ \div HEA \quad \text{Equação 11}$$

em que

CHC = custo horário do capital (R\$/h);

CCA = custo anual do capital investido (R\$/ano);

HEA = horas efetivamente trabalhadas por ano (h/ano).

O custo de mão-de-obra foi determinado pelo custo do salário dos operadores, acrescidos, dos encargos sociais e dividido pelas horas efetivamente trabalhadas por mês (Equação 12). Os dados para este cálculo foram fornecidos pela empresa.

$$MDO = \frac{Sop \times Es}{HTM} \quad \text{Equação 12}$$

em que:

MDO = custo de mão-de-obra por hora efetiva (R\$/h);

Sop = somatório dos salários mensais dos operadores (R\$);

Es = taxa de encargos sociais (%); e

HTM = horas efetivamente trabalhadas no mês (h).

O custo fixo total foi calculado pelo custo horário do capital acrescido do custo de mão-de-obra por hora efetiva dividido pela produtividade de cada equipamento (Equação 13).

$$CFT = \frac{CHC + MDO}{Pr} \quad \text{Equação 13}$$

em que:

CFT = custo fixo total (R\$/m<sup>3</sup>);

CHC = custo horário do capital (R\$/h);

MDO = custo de mão-de-obra (R\$/h);

Pr = Produtividade (m<sup>3</sup>/h).

#### 4.4.2 Custos variáveis totais da colheita (CVT)

O cálculo dos custos variáveis totais da colheita consistiu no somatório dos custos horários com manutenção e dos custos horários com combustíveis e óleos lubrificantes.

O custo de manutenção foi calculado utilizando a equação 14, que consiste no somatório dos gastos anuais com comboio de manutenção, corrente e sabre, esteiras ou pneus, peças e/ou componentes e serviços, dividido pelas horas efetivamente trabalhadas no ano. Os valores foram estimados de acordo com a experiência da empresa, em razão da sua série histórica de dados.

$$CM = \frac{CCM+CS+EP+PC+SM}{HTA} \quad \text{Equação 14}$$

em que:

CM = custo de manutenção por hora efetiva de trabalho (R\$/h);

CCM = gasto anual com comboio de manutenção (R\$/ano);

CS = gasto anual com corrente e sabre (R\$/ano);

EP = gasto anual com esteiras ou pneus (R\$/ano);

PC = gasto anual com peças e/ou componentes (R\$/ano);

SM = gasto anual com serviços de manutenção (R\$/ano);

HTA = horas efetivamente trabalhadas no ano (h/ano).

Para o cálculo foram considerados os valores atualmente utilizados pela empresa para composição dos custos:

CCM = 10% do gasto anual com combustível e com óleo lubrificante;

CS = 13% do gasto anual com depreciação;

EP = 10 % do gasto anual com depreciação;

PC = 55 % do gasto anual com depreciação;

SM = 55 % do gasto anual com depreciação.

O custo com combustível foi obtido pelo somatório dos custos de óleo diesel, óleo lubrificante e óleo de corrente para o harvester (Equação 15).

$$CCH = \frac{(CD \times PD) + (COL \times POL) + (COC + POC)}{HT} \quad \text{Equação 15}$$

em que:

CCH = custo horário de combustível do Harvester (R\$/h);

CD = consumo de óleo diesel (L/h);

PD = preço do óleo diesel (R\$/L);

COL = consumo de óleo lubrificante (L/h);

PD = preço do óleo de lubrificante (R\$/L);

COC = consumo de óleo de corrente (L/h);

PD = preço do óleo de corrente (R\$/L);

HT = horas efetivamente trabalhadas (h).

O custo com combustível foi obtido pelo somatório dos custos de óleo diesel e óleo lubrificante para o trator autocarregável (Equação 16).

$$CCA = \frac{(CD \times PD) + OL}{HT} \quad \text{Equação 16}$$

em que:

CCA = custo horário de combustível do autocarregável (R\$/h);

CD = consumo de óleo diesel (L/h);

PD = preço do óleo diesel (R\$/L);

OL = gasto com óleo lubrificante (30% do gasto com óleo diesel) (R\$/h);

HT = horas efetivamente trabalhadas (h).

Para óleo diesel, óleo lubrificante e de corrente, foram utilizados os preços de mercado na época do experimento. O custo variável total foi calculado pelo custo de manutenção acrescido do custo de combustível por hora efetiva (Equação 17).

$$CVT = \frac{CM+CC}{Pr} \quad \text{Equação 17}$$

em que:

CVT = custo variável total (R\$/m<sup>3</sup>);

CM = custo de manutenção por hora efetiva de trabalho (R\$/h);

CC = custo horário de combustível (R\$/h).

Pr = Produtividade (m<sup>3</sup>/h).

#### 4.4.3 Custo total da colheita (CT)

O custo total da colheita e do transporte foi obtido pelo somatório dos custos fixos e variáveis, dividido pela produtividade (Equação 18):

$$CT = CFT + CVT \quad \text{Equação 18}$$

em que:

CT = custo total da colheita (R\$/m<sup>3</sup>);

CFT = custo fixo total (R\$/m<sup>3</sup>);

CVT = custo variável total (R\$/m<sup>3</sup>).

#### 4.4.4 Custo do transporte

O custo do transporte da madeira até os boxes foi determinado pelo custo do metro cúbico transportado praticado pelo mercado, procedimento atualmente utilizado pela empresa.

#### 4.4.5 Custo do carregamento e do descarregamento do forno

Os custos de carregamento e de descarregamento dos fornos foram determinados pelas horas efetivamente trabalhadas, multiplicada pelo custo horário do equipamento e dividido pela produtividade do equipamento. O custo horário do equipamento utilizado neste cálculo foi o custo médio praticado pelo mercado.

$$CCD = \frac{Ht \times Ch}{Mm}$$

Equação 19

em que:

CCD = custo do carregamento e do descarregamento (R\$/t);

Ht = horas efetivamente trabalhadas (h);

Ch = custo horário do equipamento (R\$/h);

Mm = massa movimentada (t).

#### 4.5 Custo da colheita na produção de carvão vegetal

Para a determinação do custo da colheita na produção de carvão vegetal, primeiramente, custos totais da colheita foram convertidos de R\$/m<sup>3</sup> para R\$/t para possibilitar a comparação com a massa de carvão produzida, utilizando a densidade

da madeira mensurada previamente pela empresa através do inventário pré-corte realizado no talhão utilizado para o experimento (Equação 15).

$$CCt = \frac{CC}{d} \quad \text{Equação 20}$$

em que:

CCt = custo total da colheita por tonelada (R\$/t);

CC = custo total da colheita metro cúbico (R\$/m<sup>3</sup>);

d = densidade (0,495 g/cm<sup>3</sup>).

Após a conversão dos custos, foi determinado o custo de colheita na produção do carvão vegetal, utilizando o rendimento gravimétrico. Tal rendimento foi gerado a partir da média dos rendimentos gravimétricos dos tratamentos, utilizando toras finas e grossas de mesmo comprimento.

$$CCV = \frac{CCt}{RG} \times 100 \quad \text{Equação 21}$$

em que:

CCV = custo da colheita na produção de carvão vegetal (R\$/t);

CTt = custo total da colheita por tonelada (R\$/t);

RG = rendimento gravimétrico (%).

#### 4.6 Análise estatística dos dados

Para a realização das análises estatísticas descritivas foram utilizadas ferramentas estatísticas disponíveis no software SAS LEARNING EDITION (Apêndices B,C e D)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são apresentados e discutidos na mesma sequência com que ocorrem as operações do sistema de colheita para a produção de carvão vegetal, ou seja, primeiramente, são tratados os resultados da etapa de corte mecanizado com harvester, em seguida a etapa de baldeio com forwarder, a etapa de carbonização e por fim, a análise dos custos gerados pela operação de colheita na produção de carvão vegetal.

### 5.1 Colheita e transporte da madeira

#### 5.1.1 Corte e processamento da madeira no campo

No gráfico 1 verifica-se que o rendimento do equipamento é maior ao seccionar toras de 5,0m e de 3,70m, quando comparado com o rendimento do equipamento ao trabalhar seccionando toras de 2,10m.

Como o rendimento é diretamente afetado pela quantidade de atividades realizadas pelo equipamento, ao seccionar toras de menores comprimentos é dispendido um maior número de atividades por árvore. Portanto, o rendimento do harvester, ao trabalhar seccionando toras de menor comprimento, é menor, quando comparado com o mesmo equipamento trabalhando com toras de maior comprimento. Porém, observa-se que o aumento da produtividade é maior, em termos percentuais, ao se aumentar o comprimento de tora de 2,10m para 3,70m, quando comparado com o aumento da produtividade ao se aumentar o comprimento de tora de 3,70m, para 5,0m. Levando-se em consideração que os harvester são máquinas projetadas para trabalhar com toras desde 2,0m até 6,0m e que o rendimento aumenta ao se aumentar o comprimento de tora, a curva de rendimento



do harvester em função do aumento do comprimento de tora está próximo do ponto ótimo ao se trabalhar com toras entre 3,70m e 5,0m, não apresentando grandes aumentos na produtividade ao se variar o comprimento de tora de 3,70m para 5,0m.

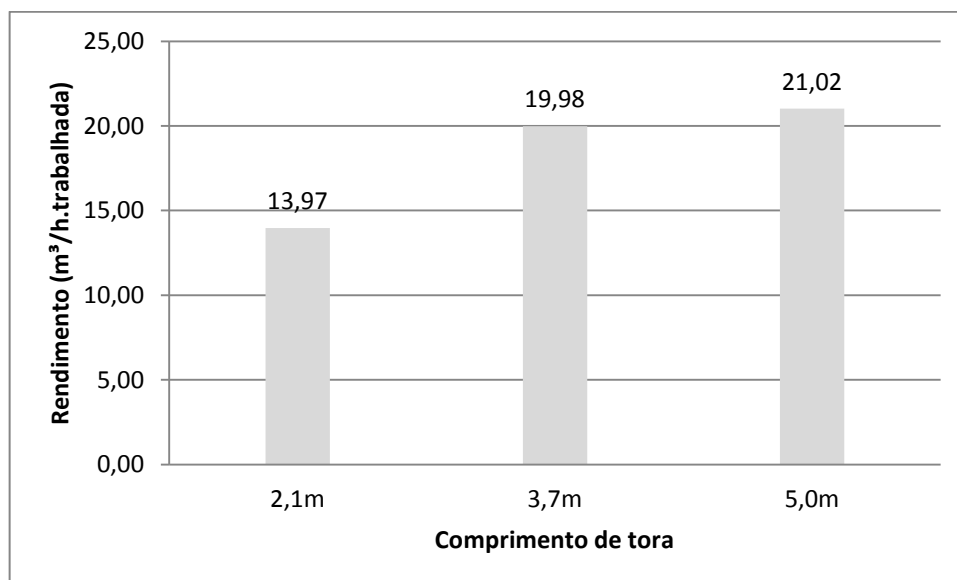


Gráfico 1 Rendimento do harvester na colheita do eucalipto em três comprimentos de tora (m³/h trabalhada)

Observa-se, também, no gráfico 1, que o maior rendimento em m³/h.trabalhada é obtido ao seccionar toras de 5,0 metros de comprimento (21,02 m³/h.trabalhada), rendimento menor quando comparado com o rendimento de 28,00 m³/h.trabalhada encontrado por BURLA, 2008, ao analisar o trabalho de um harvester marca John Deere modelo 1270 D, tração 6X6, equipado com pneus e motor 160 Kw e com um cabeçote de corte modelo 762 C, seccionando toras a 4,4 m. Esta maior produtividade encontrada por BURLA, 2008, pode ser explicada pela maior agilidade no deslocamento do harvester equipado com pneus, quando comparado com o harvester equipado com esteiras, em terrenos de fácil mobilidade das máquinas.

Em estudo de produtividade de um harvester constituído por uma máquina base com estrutura de escavadora hidráulica, da marca John Deere, modelo 200C LC, equipada com motor diesel modelo 6068 H, com 119 kW com rodados de

esteira, SIMÕES, 2010, obteve produtividade de 18,72 a 39,71 m<sup>3</sup>/h.trabalhada de madeira descascada e com 6,0 m de comprimento.

Já SILVA et al., 2011, encontrou produtividade de 18,57 m<sup>3</sup>/h.trabalhada, ao analisar a produtividade de um harvester modelo PC 200 LC Marca Komatsu, valores semelhantes aos mensurados neste estudo.

Em outro estudo realizado pela V&M florestal, utilizando o mesmo equipamento utilizado neste experimento, trabalhando com toras do mesmo comprimento, o harvester apresentou rendimento de 14,79 m<sup>3</sup>/h.trabalhada com toras de 2,10 m de comprimento, de 17,58 m<sup>3</sup>/h.trabalhada com toras de 3,70 m de comprimento e de 20,95 m<sup>3</sup>/h.trabalhada de 5,0 m de comprimento. Este estudo foi conduzido em áreas com produtividade e declividade diferentes, fatores que explicam a variação no rendimento do harvester encontrado.

Nota-se ainda que o consumo de combustível aumenta de acordo com o aumento do comprimento de tora trabalhada, ou seja, quanto maior o comprimento da tora, maior o consumo de diesel e, conseqüentemente, maior gasto com óleo hidráulico e com comboio de manutenção, já que estes gastos foram calculados como porcentagens dos gastos com combustível. Este aumento é devido ao maior esforço do equipamento para seccionar as toras de maior comprimento (gráfico 2).

SIMÕES et al.,2010, em seu estudo com um harvester constituído por uma máquina base com estrutura de escavadora hidráulica com sistema de rodados composto por esteiras, da marca Caterpillar modelo CAT 320 CL, equipado com motor diesel modelo 3066-T, com 103 kW, encontrou um consumo de 24 l/h.trabalhada ao efetuar corte de uma floresta de eucalipto, com espaçamento de 3x2, de 72 meses de idade, em relevo plano a levemente ondulado e volume de 0,22 m<sup>3</sup>/árvore e seccionando toras com 6,0 m de comprimento. O consumo encontrado por SIMÕES et al.,2010 é menor ao se comparar com o consumo deste estudo, devido as variações nas características do povoamento florestal utilizado, principalmente pelo fato do relevo trabalhado ser plano e o volume ser menor que o volume de 0,29 m<sup>3</sup>/árvore do povoamento utilizado neste estudo.

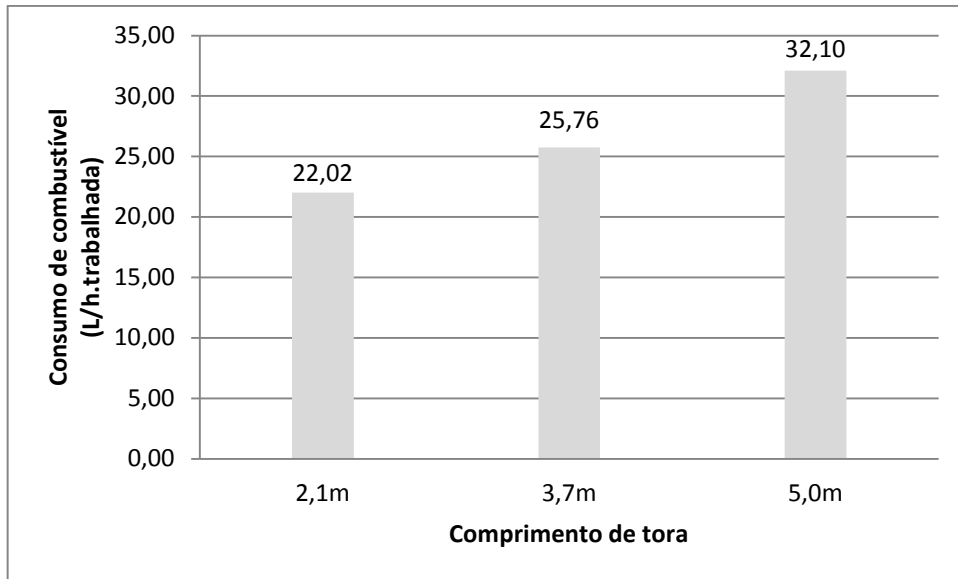


Gráfico 2 Consumo de combustível do harvester na colheita de eucalipto em três comprimentos de tora por hora trabalhada (l/h trabalhada).

No gráfico 3, é apresentado o consumo de óleo hidráulico do harvester em l/h.trabalhada. Pode-se observar maior consumo de óleo hidráulico em maiores comprimentos, devido ao maior esforço do equipamento ao manusear essas toras.

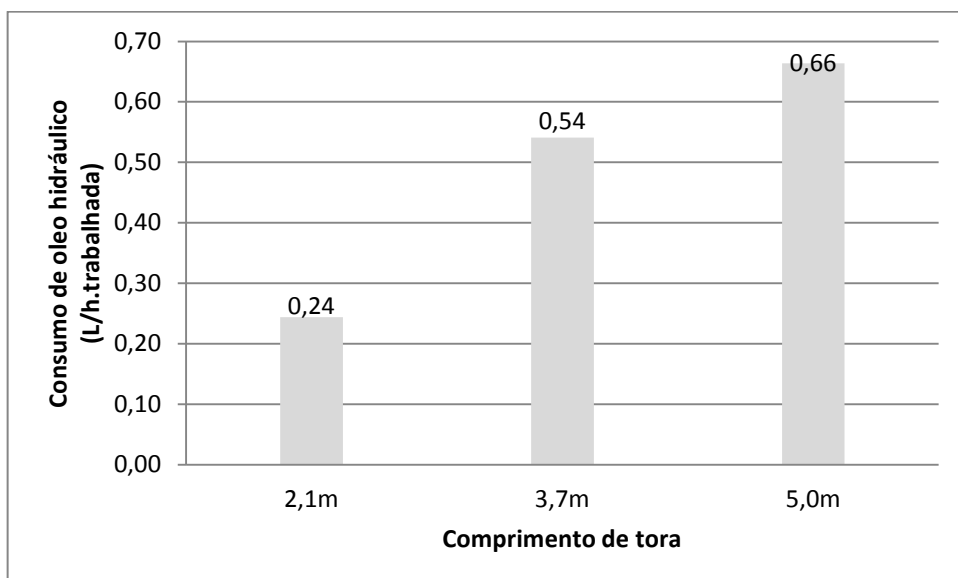


Gráfico 3 Consumo de óleo hidráulico do harvester na colheita de eucalipto em três comprimentos de tora por hora trabalhada (l/h trabalhada).

Já o consumo de óleo de corrente é maior ao se trabalhar com toras de menor comprimento, pois, é necessário maior número de cortes para se processar uma árvore em comprimentos menores (gráfico 4).

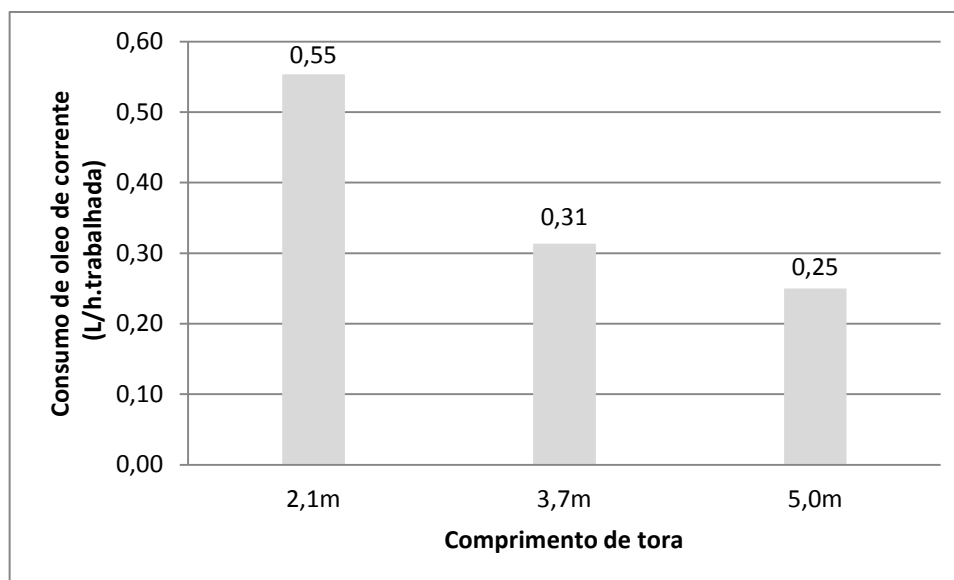


Gráfico 4 Consumo de óleo de corrente do harvester na colheita de eucalipto em três comprimentos de tora por hora trabalhada (l/h trabalhada).

### 5.1.2 Baldeio

Pode-se observar que o rendimento da operação aumenta de acordo com o comprimento de tora, tanto na operação com toras grossas quanto na operação com toras finas (gráfico 5). Este rendimento do baldeio, observado no trabalho com toras de maior comprimento, pode ser explicado pelo maior volume manuseado pela grua nestes comprimentos, durante as operações de carga e descarga.

MINETTE et al., 2008, em um estudo de avaliação técnica da extração de madeira com trator autocarregável, obteve produtividade de 23,83 m<sup>3</sup>/h.trabalhada ao transportar toras de 2,80 m de comprimento, valor este maior do que o melhor rendimento encontrado neste trabalho, de 20,0 m<sup>3</sup>/h.trabalhada ao se transportar toras de 5,0 m.

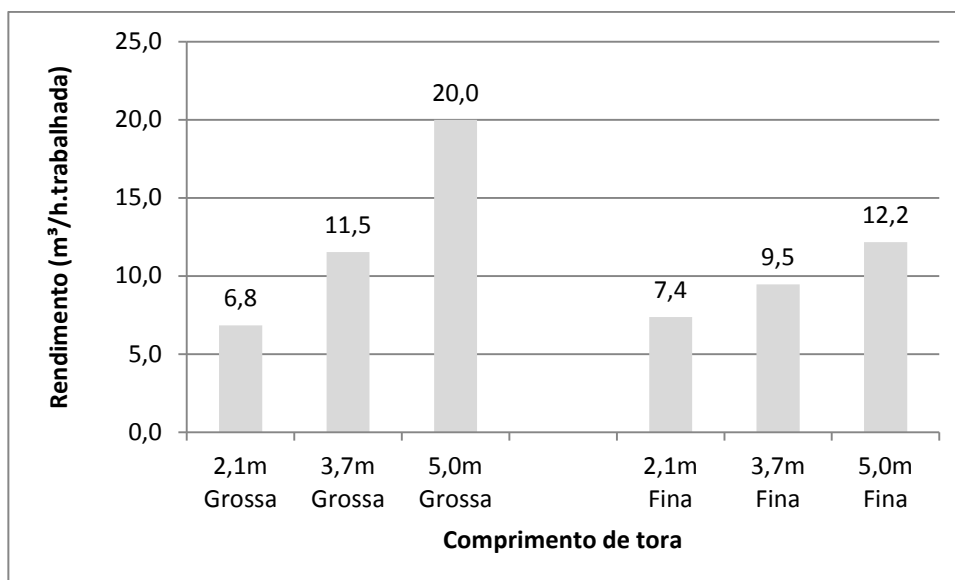


Gráfico 5 Rendimento do trator autocarregável no transporte de eucalipto em três comprimentos de tora e com separação entre toras finas e grossas (m³/h.trabalhada).

O consumo de óleo combustível do trator autocarregável variou de acordo com o aumento do comprimento de tora (gráfico 6). O aumento do consumo ocorreu em função do maior esforço das guias ao manusear toras de maior comprimento e pela melhor acomodação da carga com toras maiores. A carga efetuada com toras de maiores comprimentos possui menos espaços vazios ou não preenchidos, principalmente pelas dimensões dos equipamentos utilizados, por serem projetadas para trabalhar utilizando toras de 5 metros.

SAUERBIER (2011), em seu estudo, encontrou um consumo médio de óleo diesel de um conjunto formado por um trator New Holland TM 7010 e um autocarregável modelo TMO AC 5610 de 13,0 l/h.trabalhada, valor este maior quando comparado com aqueles encontrados neste estudo. Isto foi constatado, devido ao trator New Holland TM 7010 possuir 141 cv de potência e o trator Valtra BH 180, utilizado no experimento, possuir 189 cv de potência, diferença significativa ao se comparar os dois modelos trabalhando com um autocarregável, pois tratores com maior potência são submetidos a menores esforços durante o trabalho, gerando assim menor consumo de óleo combustível.

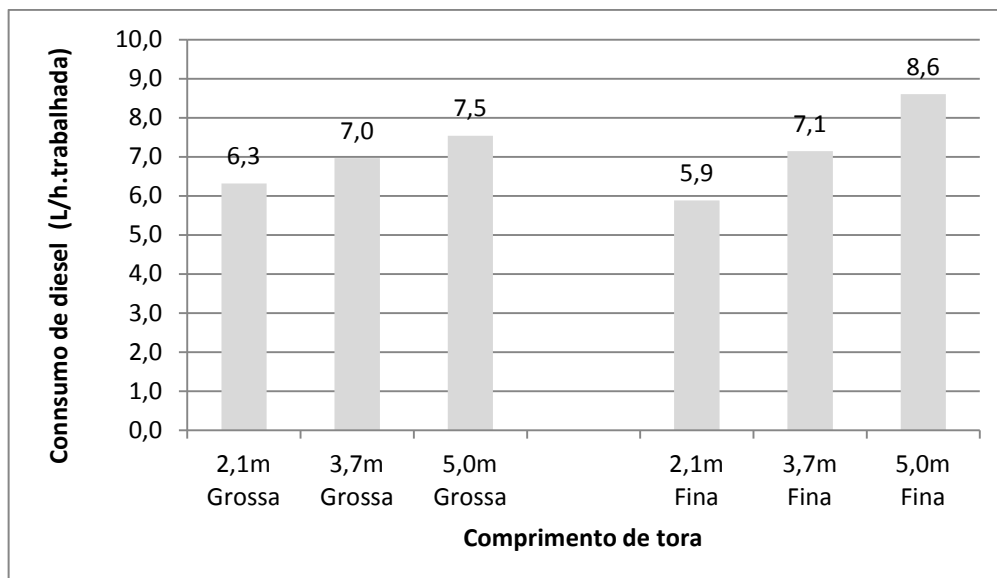


Gráfico 6 Consumo horário de óleo diesel do trator autocarregável no transporte de eucalipto em três comprimentos de tora (L/h.trabalhada).

## 5.2 Carbonização e qualidade do carvão vegetal

Os resultados médios da etapa de carbonização e das análises da qualidade do carvão vegetal estão apresentados na tabela 1.

Tabela 1 Resultados médios da etapa de carbonização obtidos para cada tratamento.

Variáveis	Tratamentos					
	2,1m Fina	3,7m Fina	5,0m Fina	2,1m Grossa	3,7m Grossa	5,0m Grossa
<b>Lenha</b>						
Umidade (%B.S)	23,0	16,0	26,0	39,0	40,0	54,0
Densidade básica (Kg/m <sup>3</sup> ) (B.S)	495,0	495,0	495,0	495,0	495,0	495,0
Diâmetro (cm)	11,1	10,1	10,1	15,2	15,1	15,6
Comprimento (m)	2,1	3,7	5,0	2,1	3,7	5,0
<b>Carbonização</b>						
Tempo médio de carregamento (h)	5,2	3,2	2,1	4,5	3,0	2,1
Massa seca enforcada (t)	70,0	61,9	54,6	65,0	58,3	53,5
Tempo médio de descarregamento (h)	2,7	2,5	2,3	2,7	2,6	2,5
<b>Rendimento</b>						
Gravimétrico (%B.S)	30,1	31,6	30,9	32,6	31,8	31,7
Rendimento em carbono fixo (%)	11,4	11,2	9,4	12,8	13,2	12,7
<b>Carvão Vegetal</b>						
Massa de carvão vegetal produzida (t)	21,1	19,6	16,9	21,2	18,6	17,0
Massa de tiço produzida (t)	8,6	5,7	6,2	7,0	8,7	9,3
Teor de cinzas (%)	0,77	0,73	0,66	0,60	0,50	0,72
Materiais voláteis (%)	17,5	21,1	23,5	16,7	21,7	17,8
Teor de carbono fixo (%)	81,7	78,1	75,9	82,7	77,8	81,5
Granulometria (mm)	51,0	48,0	49,1	52,3	51,2	43,6
Índice de quebra por queda (%)	19,3	18,0	19,3	19,7	30,6	28,9
Índice de quebra e abrasão por tamboramento (%)	52,3	49,0	43,4	57,0	59,6	61,2
Poder calorífico (Kcal/kg)	8688,9	8710,5	8731,3	8732,6	8792,5	8703,1

O rendimento da etapa de carregamento do forno foi maior a medida que se aumentou o comprimento de tora utilizado (Gráfico 7). Este aumento é devido ao menor número de manobras necessárias para o completo preenchimento do forno, ao se trabalhar com toras de maior comprimento, uma vez que, para o preenchimento total do forno com toras de menores comprimentos é necessário organizar mais de pilhas no interior do forno.

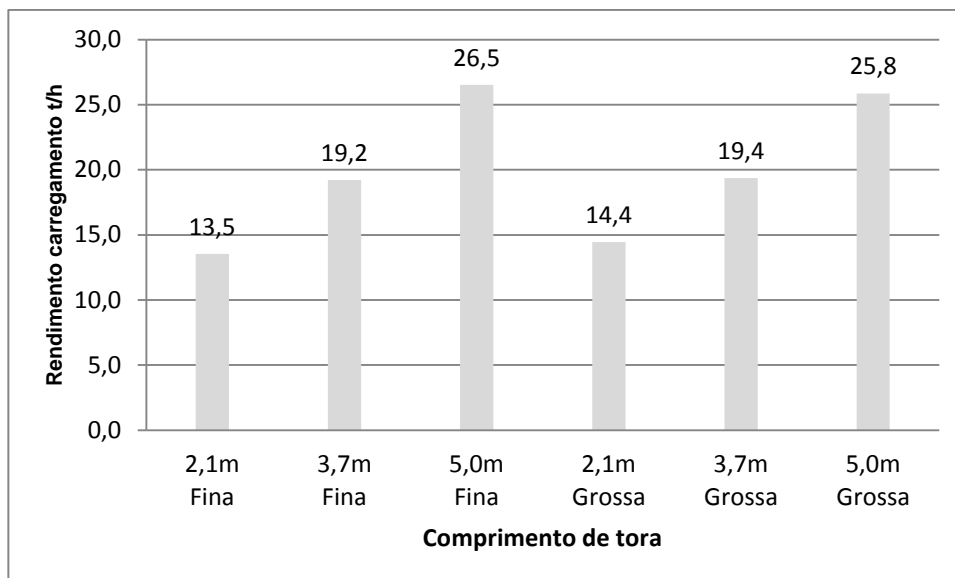


Gráfico 7 Rendimento da operação de carregamento do forno (t/h) nos diferentes tratamentos.

Portanto toras de maior comprimento são mais desejáveis do ponto de vista de rendimento da etapa de carregamento do forno. Porém apresentaram menor rendimento na etapa de descarregamento do forno, devido ao maior volume de carvão produzido por estes fornos e ao menor volume de tiços gerados (Gráfico 8).

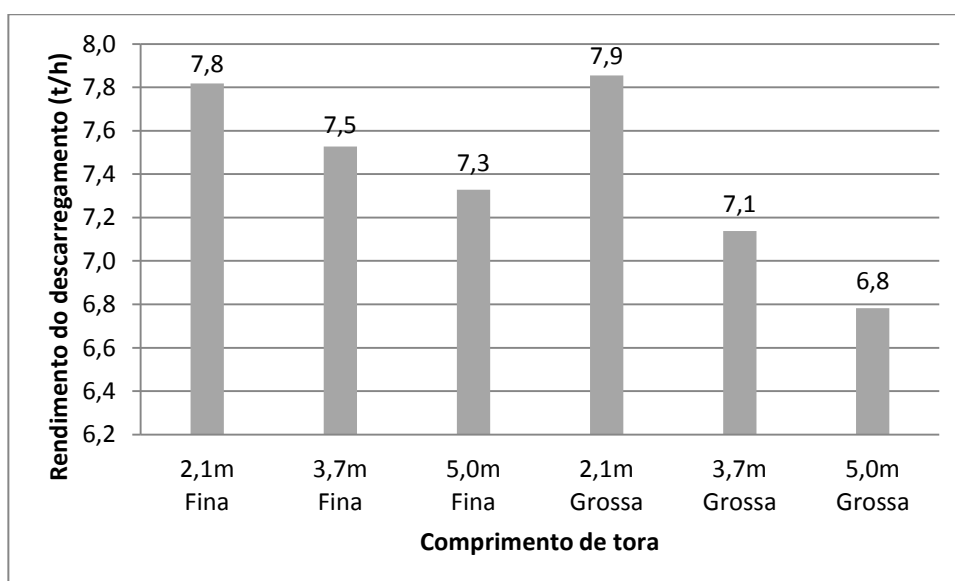


Gráfico 8 Rendimento da operação de descarregamento do forno (t/h) nos diferentes tratamentos.



A massa seca enfiada, por tratamento, foi menor à medida que se aumentou o comprimento de tora, pois, com toras de menor comprimento, a acomodação da carga do forno é melhor, quando comparada com toras de maior comprimento, uma vez que o equipamento apresenta maior facilidade ao manusear lenhas de menor comprimento.

Os teores de umidade de toras grossa apresentaram-se maiores quando comparados com os teores de toras fina. Este teor de umidade é devido ao processo de secagem ser mais rápido quando comparado com toras de maiores diâmetros e pode ser explicado, também, pela organização da pilha de toras finas no processo de secagem. No interior destas pilhas ocorre a presença de maiores espaços vazios, proporcionando uma melhor circulação de ar e, conseqüentemente, favorecendo a secagem. Pode-se notar, também, que nas lenhas classificadas como grossas, o teor de umidade aumenta de acordo com o comprimento das toras, já que a madeira seca pelas extremidades, e quanto maior o comprimento, mais tempo é gasto no processo de secagem.

O rendimento gravimétrico não variou significativamente entre os tratamentos, devido a homogeneidade do material utilizado e do processo de carbonização ser o mesmo para todos os tratamentos, além dos fornos e do controle da carbonização serem os mesmos.

A massa de carvão vegetal e a massa de tico produzidas apresentaram o mesmo comportamento da massa seca enfiada, ou seja, variaram de acordo com seu. Aumentando a massa de madeira enfiada, aumenta a massa de carvão vegetal e de tico produzidas. Esta lógica explica a homogeneidade do rendimento gravimétrico.

Os parâmetros de qualidade do carvão vegetal não foram afetados pela variação do comprimento de tora utilizado e apresentaram-se dentro da faixa desejável para seu uso em alto-fornos. As amostras usadas apresentavam alta homogeneidade por pertencerem a um mesmo clone, possuírem a mesma idade e serem provenientes de um talhão onde a nutrição, o manejo e o regime meteorológico foram os mesmos.

### 5.3 Análise dos custos

#### 5.3.1 Custos Fixos da colheita

Os custos fixos totais horários gerados pela atividade de colheita são apresentados no gráfico 9. Estes custos não variam entre os tratamentos devido ao fato de ter sido utilizado o mesmo equipamento.

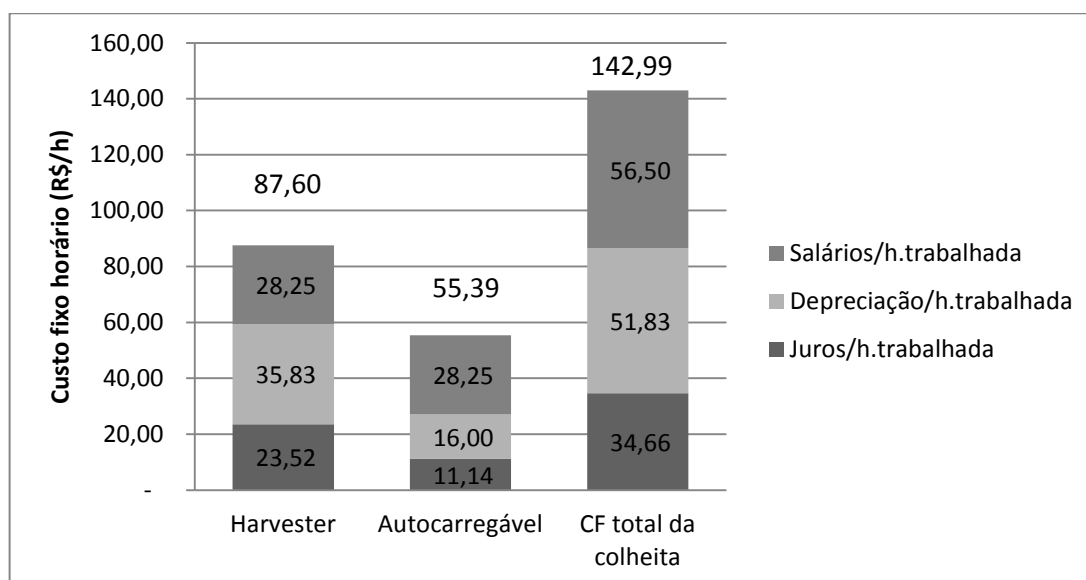


Gráfico 9 Custo fixo horário do harvester e do Autocarregável (R\$/h).

Levando em consideração que os rendimentos dos equipamentos variam entre os tratamentos, o custo fixo médio por unidade produzida também apresenta variações, pois os custos fixos totais são diluídos nos custos por unidade dos tratamentos que apresentam maiores rendimentos (gráfico 10). Portanto, os custos fixos médios por unidade produzida são menores nos tratamentos com maiores comprimentos de tora.

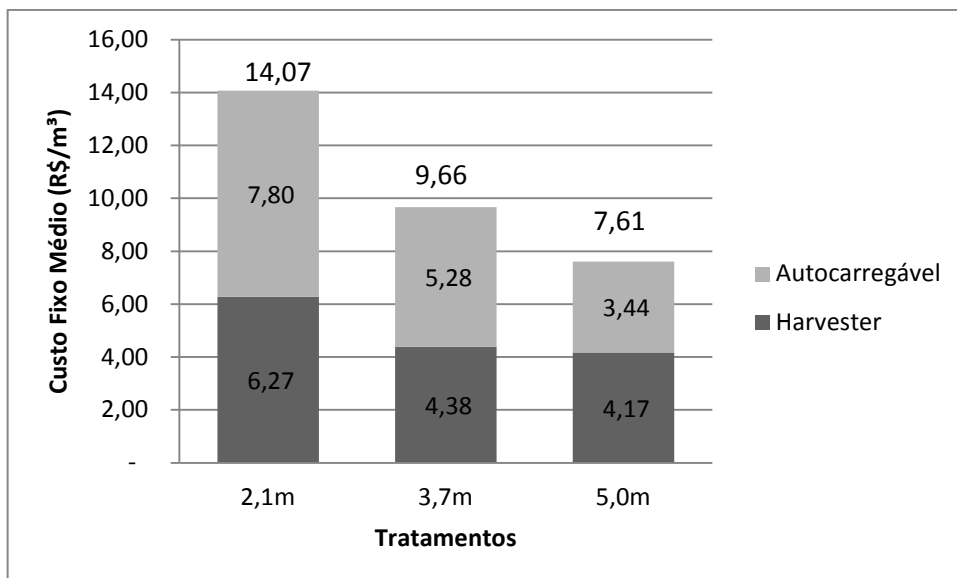


Gráfico 10 Custo fixo médio do harvester e do Autocarregável nos diferentes tratamentos (R\$/m³).

### 5.3.2 Custos variáveis da colheita

Os custos variáveis do harvester são apresentados no gráfico 11. Observou-se que o custo horário aumentou com o comprimento de tora utilizado, porque há um aumento dos gastos com manutenção e com combustível, uma vez que o equipamento é submetido a um maior esforço ao se cortar e processar toras maiores além de deslocarem mais rapidamente. Nota-se, também, que os maiores componentes do custo variável do harvester são os custos com manutenção e combustível.

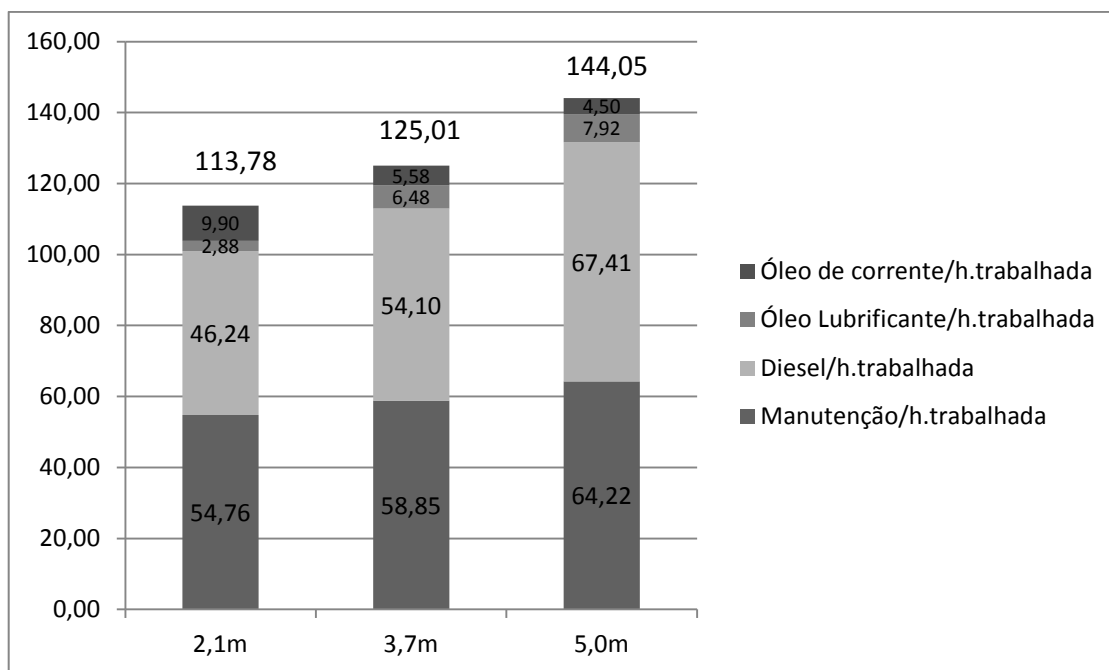


Gráfico 11 Custos variáveis totais do harvester nos diferentes tratamentos (R\$/h.trabalhada)

Em relação ao custo variável do autocarregável, verificou-se um aumento do custo horário ao utilizar toras de maiores comprimentos, como observado no harvester. Este aumento nos custos é gerado pelo maior custo de manutenção e pelo custo com combustíveis, maiores componentes do custo variável, pois ocorre maior esforço nos equipamentos ao serem submetidos ao manuseio de toras de maiores comprimentos, além de se deslocarem mais rapidamente. Conseqüentemente, gerou-se maior custo de manutenção dos equipamentos utilizados, devido ao maior consumo horário de combustível (Gráfico 12).

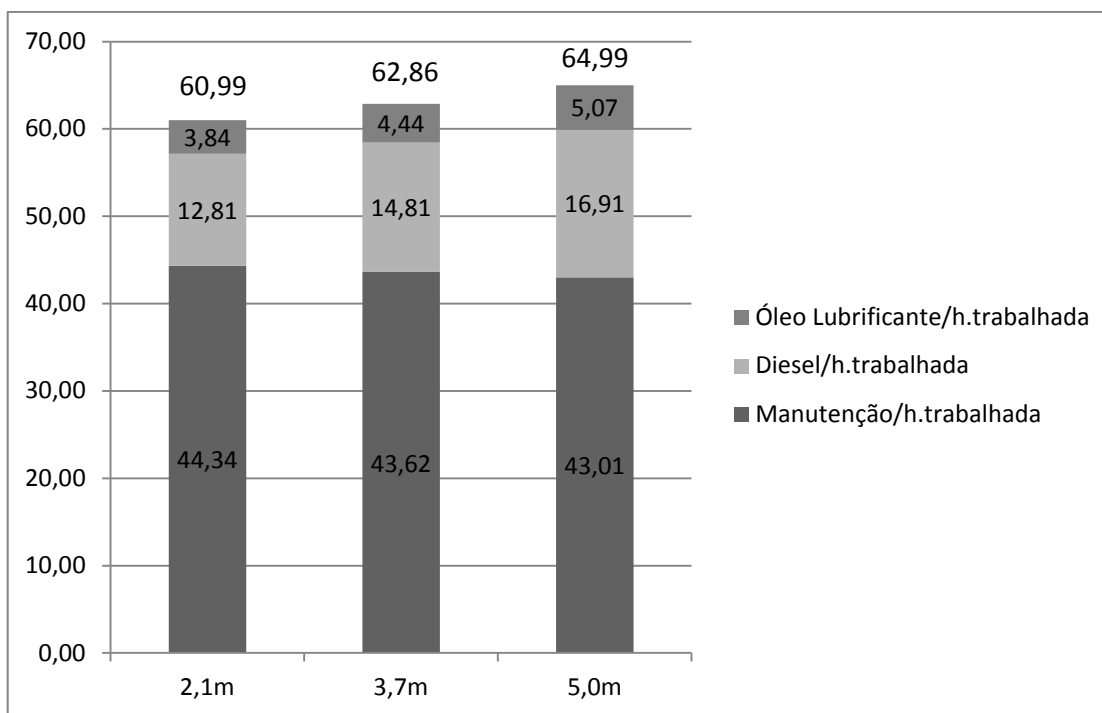


Gráfico 12 Custos variáveis totais do autocarregável nos diferentes tratamentos (R\$/h.trabalhada)

Levando em consideração que os rendimentos dos equipamentos variam entre os tratamentos, o custo variável médio por unidade produzida também apresenta variações, pois são diluídos por unidade dos tratamentos que apresentam maiores rendimentos (gráfico 13). Portanto, os custos variáveis médios são menores nos tratamentos com maiores comprimentos de tora.

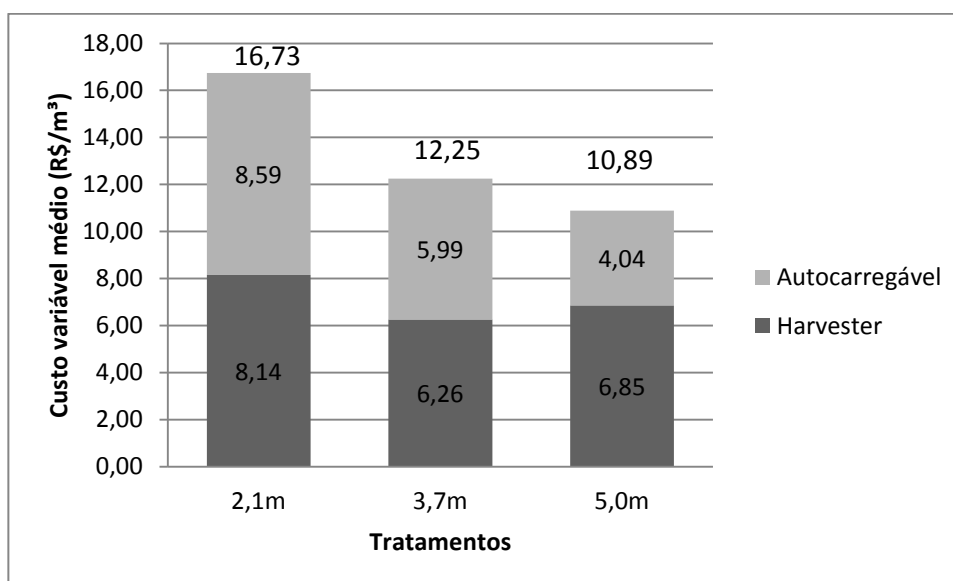


Gráfico 13 Custo variável médio do harvester e do Autocarregável nos diferentes tratamentos (R\$/m³).

### 5.3.3 Custo total da colheita

Pode-se observar no gráfico 14 que os custos horários totais aumentam de acordo com o comprimento de tora utilizado, apresentando o mesmo comportamento dos custos variáveis, uma vez que os custos fixos horários não variam e o custo horário total foi obtido através da soma dos custos horários fixos e dos custos horários variáveis.

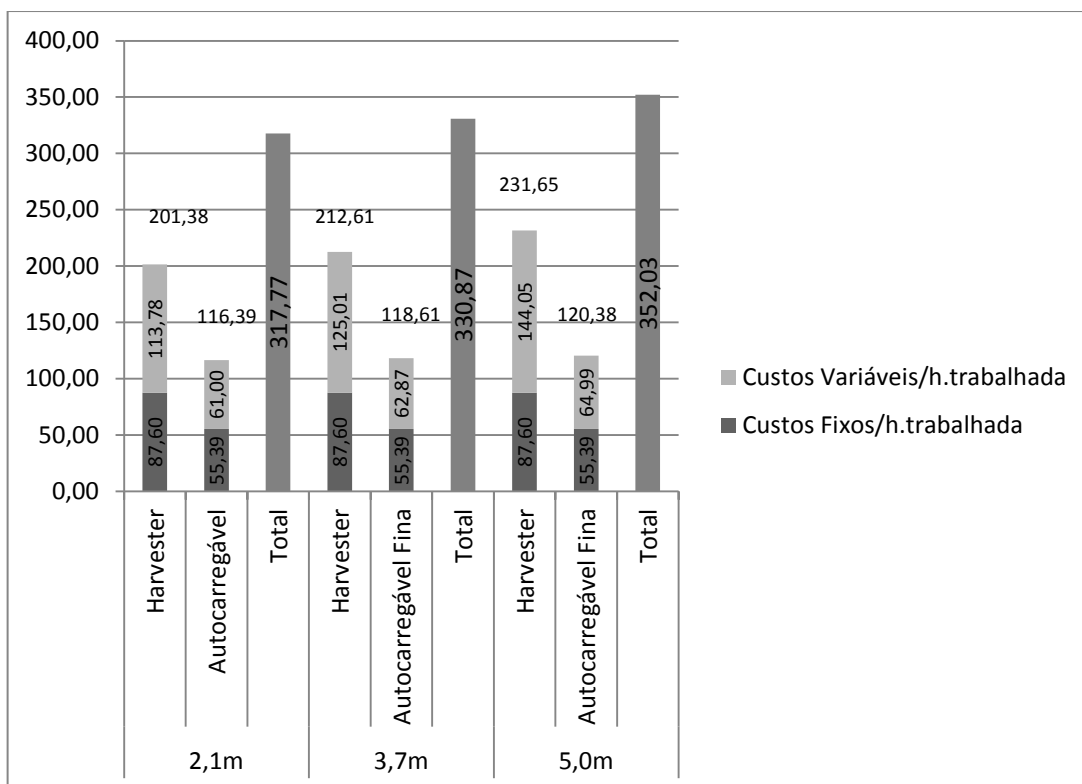


Gráfico 14 Custos totais da atividade de colheita nos diferentes tratamentos (R\$/h.trabalhada)

Apesar dos custos horários totais apresentarem-se maiores nas atividades utilizando toras de maiores comprimentos, os custos por unidade (metros cúbicos e toneladas) apresentam correlação inversa ao comprimento de tora utilizado.

No gráfico 15 são apresentados os custos por metro cúbico de madeira. Nota-se que os custos por metro cúbico do harvester é menor ao se utilizar toras de 3,7m, pois possui uma melhor correlação entre custo horário e produtividade.

Porém, ao se analisar o custo por unidade do harvester e custo por unidade do autocarregável, observa-se que os custos por unidade totais são menores ao se utilizar toras com 5,0m, devido ao menor custo do autocarregável.

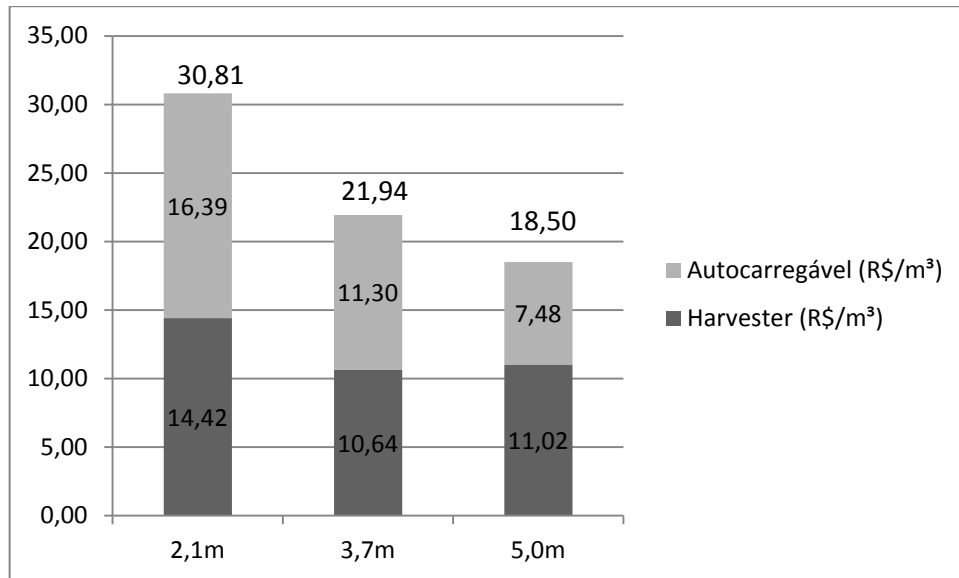


Gráfico 15 Custos totais por metro cúbico da atividade de colheita (R\$/m³)

Os custos por tonelada apresentam a mesma variação dos custos por metro cúbico, uma vez que foram obtidos da correlação entre os custos por metro cúbico e a densidade da madeira obtida através de mensurações contidas no inventário pré-corte, realizado pela empresa no talhão utilizado para o experimento (gráfico 16).

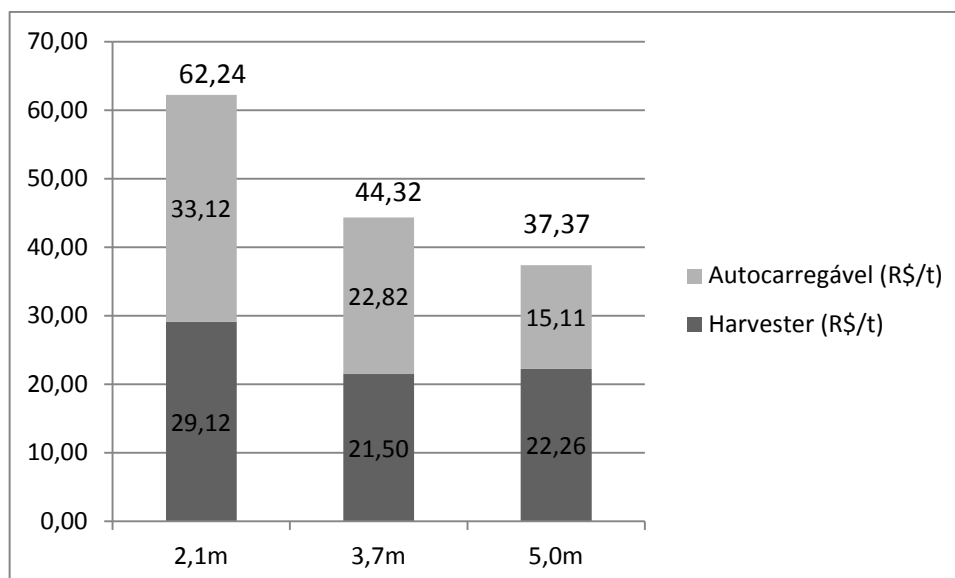


Gráfico 16 Custos totais por tonelada da atividade de colheita (R\$/t)

### 5.3.4 Custo do carregamento e do descarregamento do forno

O custo de carregamento do forno é menor nas toras com maiores comprimentos, pois está diretamente ligado ao rendimento do equipamento, que é maior ao se trabalhar utilizando essas toras (Tabela 2).

Tabela 2 Custo do carregamento do forno nos diferentes tratamentos (R\$/t)

Tratamento	Carregamento Lenha fina (R\$/t)	Carregamento Lenha Grossa (R\$/t)
2,10	5,24	4,91
3,70	3,68	3,64
5,00	2,67	2,74

O custo do descarregamento foi maior ao se descarregar fornos contendo carvão produzido por toras de menor comprimento, que apresentaram maiores volumes de carvão produzido por forno, uma vez que o custo é gerado pela



quantidade de horas trabalhadas por forno, e, conseqüentemente, em fornos com maiores volumes de carvão produzidos, este valor é maior (Tabela 3).

Tabela 3 Custo do descarregamento do forno nos diferentes tratamentos (R\$/t)

Tratamento	Descarregamento Lenha fina (R\$/t)	Descarregamento Lenha Grossa (R\$/t)
2,10	9,68	10,39
3,70	9,25	9,96
5,00	9,06	8,95

### 5.3.5 Custo da colheita na produção de carvão vegetal

Levando em consideração o rendimento gravimétrico, é apresentado no gráfico 17 o custo gerado pela atividade de colheita por tonelada de carvão vegetal, para cada um dos tratamentos.

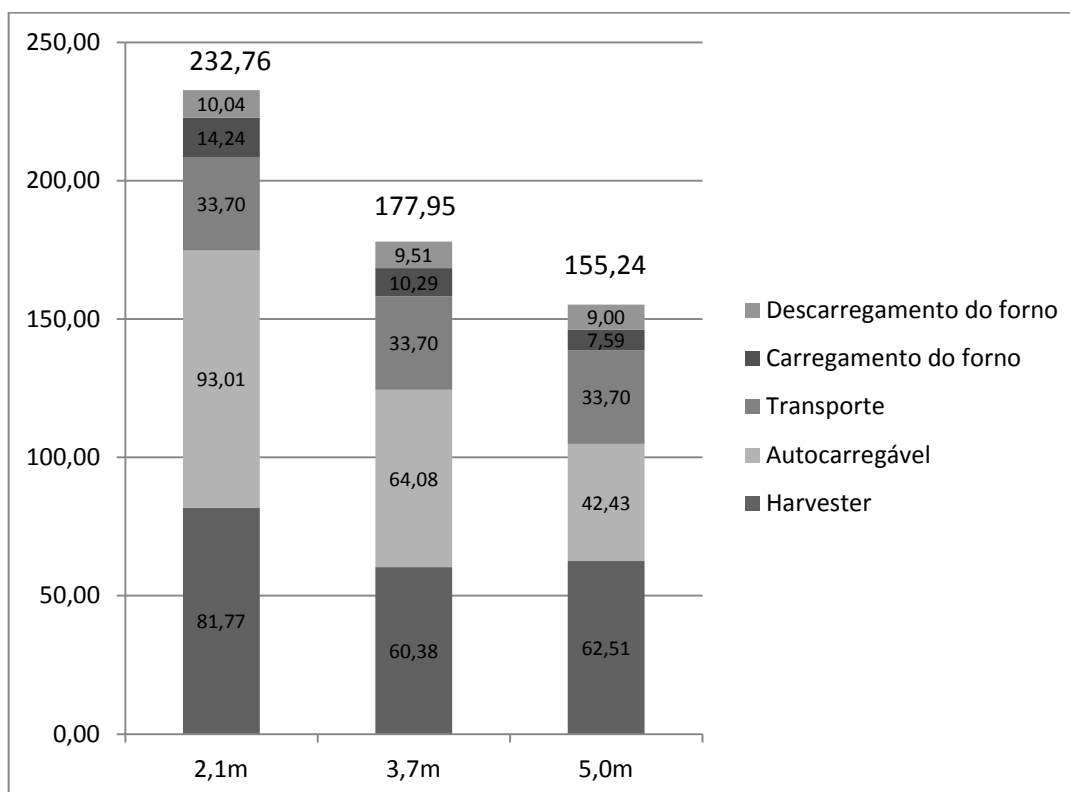


Gráfico 17 Custo gerado pela atividade de colheita por tonelada de carvão vegetal para os diferentes tratamentos (R\$/t)

Pode-se observar que o custo da colheita, na produção de carvão vegetal, é menor nos maiores comprimentos de tora utilizados. Houve maior representatividade das atividades de corte com o harvester e de baldeio com o autocarregável no custo total da operação, sendo 76,29% do custo total para toras de 2,1m, 72,53% para toras de 3,7m e 71,69% para toras de 5,0m. Estas duas etapas requerem maior atenção dentro do processo.

Ao se aumentar o comprimento de tora de 3,7m para 5,0m, ocorre uma redução nos custos de R\$ 441.614,68 por ano, o que representa 12,76% no custo total da operação. E ao se aumentar o comprimento de tora de 2,1m para 5,0m, a redução anual de custo de colheita na produção de carvão é de R\$ 1.324.920,52, o que representa 33,30% do custo total. Tudo isso, levando em consideração a planta de carbonização utilizada para o estudo, que possui 24 fornos retangulares, nos mesmos padrões dos fornos utilizados, o ciclo de carbonização médio de 15 dias e a produtividade de cada tratamento.

## 6 CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos nas análises da colheita florestal para a produção de carvão vegetal, concluiu-se que:

- A produtividade dos equipamentos aumenta com a utilização de toras de maiores comprimentos.
- O consumo horário de combustíveis e de óleo lubrificante dos equipamentos aumenta com a utilização de toras de maiores comprimentos.
- O consumo de óleo de corrente pelo harvester é maior ao processar toras de menor comprimento.
- A variação do comprimento de tora não interfere significativamente na qualidade do carvão vegetal produzido em fornos retangulares.
- O custo horário do sistema de toras curtas é maior ao se utilizar maiores comprimentos de toras.
- O custo por unidade (metros cúbicos e toneladas) dos tratamentos com maiores comprimentos de toras são menores devido ao seu maior rendimento horário.
- A utilização do sistema de toras curtas apresenta um custo na produção de carvão vegetal inferior ao operar com comprimento de tora de 5,0m, quando comparado com o mesmo sistema operando com comprimentos de tora de 3,7m e de 2,1m.
- A produção de carvão vegetal por forno é maior ao se utilizar toras de menor comprimento.
- O sistema operando com toras de 5,0m é o mais recomendado para a produção de carvão vegetal.

## 7 RECOMENDAÇÕES

- Realizar novos estudos para avaliar a interferência do aumento da produção de carvão por forno ao se utilizar toras de menor comprimento no custo total da operação.
- Realizar novos estudos a fim de otimizar o comprimento de tora utilizado com o custo final do carvão vegetal.
- Analisar a utilização de outro sistema de colheita e transporte de madeira em que o comprimento das toras não impliquem em tão significativo aumento de custos.

## 8 REFERENCIAS

ABRAF. **Anuário Estatístico da ABRAF:** ano base 2010/ABRAF. Brasília 2011.

ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 6923/81 - Carvão vegetal - Amostragem e preparação da amostra.** Rio de Janeiro, RJ, 1981.

ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 7402/82 - Carvão vegetal – Determinação granulométrica.** Rio de Janeiro, RJ, 1982.

ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 7416/84 - Carvão vegetal – Determinação do índice de quebra.** Rio de Janeiro, RJ, 1984.

ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 8112/86 - Carvão vegetal – Análise imediata.** Rio de Janeiro, RJ, 1986.

ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. **NBR 8740/85 - Carvão vegetal – Determinação do índice de quebra e abrasão.** Rio de Janeiro, RJ, 1985.

AMABILINI, V.D. **Utilização do Harvester na exploração florestal.** In Simpósio Brasileiro sobre exploração e transporte florestal, 1., Belo Horizonte, 1991. Anais. Belo Horizonte, 1991. P. 349-364.

AMS. **O complexo florestal industrial em Minas Gerais, caracterização, dimensionamento e importância.** Belo Horizonte 2004.

AMS. **Anuário Estatístico da AMS:** ano base 2010/AMS. Belo Horizonte 2010.

ANDRADE, A.M., **Influencia da casca de eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden no rendimento e qualidade de carvão vegetal.** Viçosa, MG: UFV, 1989. 86 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal).

ARRUDA, T.P.M., **Avaliação de duas rotinas de carbonização em fornos retangulares**. Viçosa, MG: UFV, 2005. 44 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal).

AVILÉS, R.M., MIRANDA, R.M.A.C., SHIRLEN, T.S., VALVERDE, S.R. **Caracterização do setor florestal: uma abordagem comparativa com outros setores da economia**. Revista Ciência Florestal, V.15, N.1, P.105-118, 2005.

BARCELLOS, D.C., **Forno container para produção de carvão vegetal: desempenho, perfil térmico e controle da poluição**. Viçosa, MG: UFV, 2002. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal).

BARCELLOS, D.C., **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo**. Viçosa, MG: UFV, 2007. 140 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal).

BORNIA, A. C. **Mensuração das perdas dos processos produtivos: uma abordagem metodológica de controle interno**. 1995. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1995.

BRACELPA . **Relatório florestal** : ano base 2010/BRACELPA. São Paulo 2011.

BRAMUCCI, M. **Determinação e quantificação de fatores de influência sobre a produtividade de "harvesters" na colheita de madeira**. Piracicaba, SP: ESALQ, 2001. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal).

BRITO, J.O. **Princípios de produção e utilização de carvão vegetal de madeira**. Documentos florestais. Piracicaba. 1990. 14 p.

BRITO, J.O. **Reflexões sobre qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico**. Circular técnica IPEF, N.181, 1993.

BURLA, E.R. **Avaliação técnica e econômica do "harvester" na colheita do eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 2008. 62 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal).

CARMO, J.S.; 1988. **Propriedades físicas e químicas do carvão vegetal destinado a siderurgia metalúrgica.** Monografia. Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 40p.

COUTINHO, A.R., FERRAZ, E.S.B. **Determinação da friabilidade do carvão vegetal em função do diâmetro das árvores e temperaturas de carbonização.** Circular técnica IPEF, N.38, P.33-37, 1988.

CONWAY, S. **Logging practices;** principles of timber harvesting systems. São Francisco: Miller Freeman, 1976, 416p.

COTTA, A.M.G.; 1996. **Qualidade do carvão vegetal para siderurgia. Monografia.** Viçosa, Minas Gerais, Brasil. 35p.

GUIMARÃES NETO, R.M. **Avaliação técnica e econômica de um forno container em escala industrial.** Viçosa, MG: UFV, 2005. 51 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal).

JACOVINE, L.A.G. et al. **Avaliação da perda de madeira em cinco subsistemas de colheita florestal.** Revista Árvore, V.25, N.4, P.463-470, 2001.

LEFTWICH, R H. **O sistema de preços e a alocação de recursos.** 7 ed. SãoPaulo: Atlas, 1991, p180-189.

LIMA, J.G. **Custos: cálculos, sistemas e análises,** 2 ed., São Paulo: Atlas, 1979, 256p.

LIMA, J.S.S.; LEITE, A.M.P. **Mecanização.** In: Colheita florestal. Viçosa: UFV, P. 43-65,2008.

LOPES, L.F.D.; BUM, D.V.; GREGORI, R. **Identificação das perdas do processo produtivo na fabricação de massas alimentícias: um estudo baseado em sistemas de custos.** Santa Maria, RS: UFSM, 2009. 21p.

MACHADO, C.C.; LOPES,E.S. **Análise da influência do comprimento de toras de eucalipto na produtividade e custo da colheita e transporte florestal.** Revista CERNE, V.6, N.2, P.124-129, 2000.

MACHADO, C.C. (Ed.) **exploração florestal**. V parte. Viçosa: UFV, Impr. Univ., 1985. 15p.

MACHADO, C.C.; SILVA, E.N.; PEREIRA, R.S. **O setor florestal brasileiro e a colheita florestal**. In: Colheita florestal. Viçosa: UFV, 2002.

MACHADO, C.C.; SILVA, E.N.; PEREIRA, R.S. **O setor florestal brasileiro e a colheita florestal**. In: Colheita florestal. Viçosa: UFV, P. 15-42,2008.

MALINOVSKI, R.A; MALINOVSKI, J.R., **Evolução dos sistemas de colheita de madeira de pinus no sul do Brasil**. Curitiba, 1998. FUPEF.

MALINOVSKI, R.A.Otimização da distancia de extração de madeira com Forwarder. Botucatu, SP: UNESP, 2007. 94 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal).

MATARELLI, A.F.; LOPES, L.E.F; CASTRO, L.F.A. de MELLO, M.G. **Produção de metais com biomassa plantada**. In: Biomassa energia dos trópicos em Minas Gerais. 2001. Belo Horizonte – MG Editora UFMG. 178p.

MENDES, M.G.; GOMES, P.A.; OLIVEIRA. J. B. De. **Propriedades e controle de qualidade do carvão vegetal**. In: Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte: CETEC. SPT – 008, p. 75-90. 1982.

MINETTE, L.J. **Avaliação técnica e econômica dos tratores florestais transportadores (forwarders), na extração de madeira de eucalipto**. Viçosa, MG: UFV, 1988. 77 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal).

MINETTE, L.J., SILVA, E.N., MIRANDA, G.M., SOUZA, A.P., FIEDLER, N.C. **Avaliação técnica da operação de extração de eucalyptus SSP. Utilizando o trator autocarregável e o trator florestal transportador “forwarder” na região sul da Bahia**. Revista Engenharia na agricultura, V.16, N.3, P.312-317, 2008.

NOGUEIRA, C. P.; FRANÇA, G. A. C.; SOUZA JÚNIOR, L. **Otimização da produção de carvão vegetal em escala industrial**. In: SEMINÁRIO DE BALANÇOS ENERGÉTICOS GLOBAIS E UTILIDADES, 1999, Vitória. **Anais...** Vitória: 1999. p.1-10



OLIVEIRA, J.V. - Análise econômica do carvão vegetal. In: SEMINÁRIO SOBRE CARVÃO VEGETAL, 1, 1977. Belo Horizonte, IBS/ABM/BDMG, 1977.

PIMENTA, A.S. **Produção de carvão vegetal**. Viçosa: UFV, 2000.

RAAD, T.J. **Instrumentação dos fornos industriais da V&M florestal 2000**. In Melhoria Contínua da carbonização da madeira. Seminário interno Vallourec & Mannesmann Tubes. Paraopeba – MG. 32p.

SALES, F. **O setor florestal avança para a mecanização**. Silvicultura, v.6, n. 19, p. 20-30, 1981.

SANTOS, S.L.M. **Alocação ótima de máquinas na colheita de madeira**. Viçosa, MG, 1995. 99f. Dissertação (Mestrado em ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

SANTOS, M.A.S, **Parâmetros de Qualidade do Carvão Vegetal para Uso em Alto-Forno**. I Fórum Nacional Sobre Carvão Vegetal, Anais, Belo Horizonte – MG 2008

SAUERBIER, W. **Interface de decisão sobre a aquisição ou aluguel de máquinas florestais com base no custo operacional**. Irati, PR: Unicentro, 2011. 35 p. Monografia em Ciência Florestal.

SEIXAS, F. **Aspectos atuais e perspectivas de desenvolvimento em exploração florestal**. IBDF, (25): 9-14, 1983.

SEIXAS, F. **Exploração e transporte de *eucalyptus spp.*** Piracicaba, SP: IPEF, 1987. 40 p.

SEIXAS, F. **Mecanização e exploração florestal**. Apostila de Colheita Florestal. LCF/ESALQ/USP. 1998. 130p.

SEIXAS, F. **Extração**. In: Colheita florestal. Viçosa: UFV, p. 95-145, 2008.

SILVA, E.N., MACHADO, C.C., FIEDLER, N.C., PAULA, M.O., FIALHO, A.C. **Produtividade no corte com harvester em colheita de eucalipto no sul do**

**Espírito Santo.** In: XVI SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 2011, Campinas. Anais... Curitiba: FUPEF, UFPR, 2011. p.263-265.

SILVA, M.L.; JACOVINE, L.A.G.; VALVERDE, S.R. **Economia florestal.** 2. Ed. Viçosa: UFV, 2005.

SILVEIRA, G.M.da. **Os cuidados com o trator.** Viçosa, MG; Aprenda fácil, 2001. 312 p. (série Mecanização, 1).

SIMÕES, D., FENNER, P.T. **Influência do relevo na produtividade e custos do harvester.** Revista Scientia florestalis, V.38, N.85, P.107-114, 2010.

SINDIFER. **Anuário estatístico Sindifer** ano base 2006/SINDIFER. Belo Horizonte 2007.

SIQUEIRA, J.D.P. **A atividade florestal como um dos instrumentos de desenvolvimento do Brasil,** In: Congresso florestal brasileiro, 6, Campos do Jordão, 1990. Anais. Campos do Jordão: SBS, SBEF, 1990, p.15-18.

SOUZA, A.P. et al. **Estudo técnico e economic da extração de madeira de eucalipto utilizando o trator florestal transportador (“forwarder”).** Revista árvore, Viçosa, v. 12, n 2, p. 87-89,1988.

TANAKA, O.P. **Exploração e transporte da cultura do eucalipto.** Informe agropecuário, n. 141, p. 24-30, 1986.

TIMOFEICZYZ JUNIOR, R. **Análise econômica da atividade de controle de formigas cortadeiras e da maturação financeira de um povoamento de *Eucalyptus spp* no estado do Mato Grosso.** Curitiba, PR: UFPR, 1998. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal).

UHLIG, A., GOLDEMBERG, J., COELHO, S.T. **O uso do carvão vegetal na indústria siderúrgica brasileira e o impacto sobre as mudanças climáticas.** Revista brasileira de energia, V.14, N.2, P.67-85, 2008.

VALENTE, O.F. **Carbonização de madeira de eucalipto**. In: Informe agropecuário, ano 12, n. 141, Belo Horizonte, MG, Set./1986, p. 74-80.

VALVERDE, S.R., CARVALHO, R.M.M, SOARES, T.S., OLIVEIRA, P.R.S. **Evolução da participação do setor florestal na economia brasileira**. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 8. 2003, São Paulo, Anais.

WELSCH, G. A. **Orçamento empresarial**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 1985.

WINTER, M.E.L. **Gestão de valores da madeira no processo de carvoejamento**. In: XVI SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SISTEMAS DE COLHEITA DE MADEIRA E TRANSPORTE FLORESTAL, 2011, Campinas. Anais... Curitiba: FUPEF, UFPR, 2011. p.41-56.

## Apêndice A

Planilha utilizada para o cálculo dos custos dos equipamentos:

	ITENS	BASE	ÍNDICE	VALORES (R\$)	UNITÁRIO	%	OBSERVAÇÕES
<b>C A P I T A L</b>	VALOR DE AQUISIÇÃO DA MÁQUINA	UNID	1				
	VALOR DE AQUISIÇÃO DO EQUIPAMENTO	UNID	1				
	MATERIAL DE CONSUMO	UNID	1				
	OUTRAS DESPESAS	UNID	1				FRETE, TAXAS, IMPOSTO
	VALOR RESIDUAL	%	20				
<b>T A L</b>	VALOR JUROS/ ANO	%	12		-	-	JUROS ANUAL OU EMPRÉSTIMO
	VALOR DE DEPRECIÇÃO/ ANO	ANOS	4,64		-	-	VIDA ÚTIL (OPERACIONAL)
<b>CUSTO DE CAPITAL</b>		<b>R\$/Hef</b>		-	-	-	
<b>O P E R A C I O N A L</b>	DIAS ÚTEIS POR MÊS	DIA	30,00				DIAS TRABALHADOS POR MÊS
	TURNOS POR DIA	Nº	2,00				
	HORAS POR TURNO	HORAS	8,80				
	PRODUÇÃO POR HORA EFETIVA	m³/Hef	15,56				PRODUTIVIDADE
	HORAS DISPONÍVEIS/ MÊS	HORAS	528,00				
	HORAS DISPONÍVEIS/ ANO	HORAS	6.336,00				
	DISPONIBILIDADE MECÂNICA	%	80,00				PROJEÇÃO
	EFICIÊNCIA OPERACIONAL	%	85,00				PROJEÇÃO
	TAXA DE UTILIZAÇÃO	%	68,00				
	HORAS EFETIVA/ MÊS	HORAS	359,04				
<b>A L</b>	HORAS EFETIVA/ ANO	HORAS	4.308,48				
	HORAS EFETIVA NA VIDA ÚTIL	HORAS	20.000,00				
<b>VIDA ÚTIL (OPERACIONAL)</b>		<b>ANOS</b>	<b>4,64</b>				<b>VIDA REAL DO EQUIPAMENTO</b>
<b>S A L Á R I O</b>	SALÁRIO OPERADOR/ MÊS	Nº	3,00				
	ENCARGOS/DESPESAS EPG (custo oper.-salário/salário)	%	127,00				
	SALÁRIO AJUDANTE/ MÊS	Nº	-				
	ENCARGOS/DESPESAS EPG (custo oper.-salário/salário)	%	127,00				
	CUSTO OPERADOR/ ANO	MÊS	12,00		-	-	
	CUSTO AJUDANTE/ ANO	MÊS	12,00		-	-	
	CUSTO MECÂNICOS/ ANO	MÊS	12,00		-	-	
<b>TOTAL DE SALÁRIO ANUAL</b>		<b>R\$/Hef</b>		-	-	-	
<b>M A N U T E N Ç A</b>	PREÇO COMBUSTÍVEL	L	1,00				PREÇO MERCADO
	GASTO ANUAL DE COMBUSTÍVEL	L/Hef	22,02		-	-	
	GASTO ANUAL DE ÓLEO LUBRIFICANTE	%	30,00		-	-	% DO COMBUSTÍVEL
	GASTO ANUAL COMBOIO	%	10,00		-	-	% DO GASTO COMBUST. + LUBRIF.
	VIDEA / SABRE E CORRENTE	%	13,00		-	-	% DA DEPRECIÇÃO
	GASTO ANUAL ESTEIRA / PNEU	%	10,00		-	-	% DA DEPRECIÇÃO
	GASTO ANUAL DE PEÇAS/COMPONENTES	%	55,00		-	-	% DA DEPRECIÇÃO
	GASTO ANUAL SERVIÇOS	%	55,00		-	-	% DA DEPRECIÇÃO
	GASTO ANUAL SALÁRIOS/ENCARGOS OFICINA				-	-	
<b>TOTAL DE MANUTENÇÃO ANUAL</b>		<b>R\$/Hef</b>		-	-	-	#DIV/0!
<b>R E S U M O</b>	PRODUÇÃO DIÁRIA	m³/DIA	186				
	PRODUÇÃO MENSAL	m³/MÊS	5.587				
	PRODUÇÃO ANUAL	m³/ANO	67.040				
	NÚMERO DE EQUIPAMENTOS NECESSÁRIOS	Nº	-				
	INVESTIMENTO NECESSÁRIO	R\$		-			
<b>PREÇO HORA EFETIVA</b>		<b>R\$/Hef</b>		-	-	-	
<b>CUSTO UNITÁRIO DE PRODUÇÃO</b>		<b>R\$/m³</b>		-	-	-	

## Apêndice B

Análise estatística da etapa de colheita

.....  
 Dados de Óleo de corrente transformada em raiz quadrada, hidráulico trab e corrente tab em  $x^{**2}$ .

Teste de Bartlett

Variável	Dados originais		Dados transformados	
	X <sup>2</sup> corr		X <sup>2</sup> corr	
<b>Horas Trabalhadas</b>	4,389929	ns		
<b>Volume Cortado</b>	2,827791	ns		
<b>Diesel</b>	4,990682	ns		
<b>Óleo Hidráulico</b>	5,866672	ns		
<b>Óleo de Corrente</b>	14,73364	*	5,24	ns
<b>Rendimento (Vol/h.trab)</b>	1,110124	ns		
<b>Oleo Diesel/h.trab (l/h.trab)</b>	1,854844	ns		
<b>Oleo Hidráulico/h.trab (l/h.trab)</b>	314,0368	*	4,6	ns
<b>Oleo Corrente/h.trab (l/h.trab)</b>	32,77632	*	4,85	ns

### Análises de variâncias

Variável dependente: horas trabalhadas

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.609789	31.82227	1.343961	4.223333

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	1.17903333	0.58951667	0.33	0.7289

Variável dependente: Volume

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.621517	35.30417	28.02171	79.37222

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	2600.74581	1300.37291	1.66	0.2392

.....

Variável dependente: diesel

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.540929	43.40578	47.92264	110.4061

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	5831.64004	2915.82002	1.27	0.3226

.....

Variável dependente: óleo hidráulico

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.728325	37.81519	0.757354	2.002778

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	10.84687778	5.42343889	9.46	0.0050

Tukey	Média	N	Comprimento
A	2.9050	6	2,10 m
B A	2.0933	6	3,70 m
B	1.0100	6	5,0 m

.....

Variável dependente: óleo de corrente

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.716492	20.85206	0.251036	1.203889

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	0.84381111	0.42190556	6.69	0.0143

Tukey	Média	N	Comprimento
A	1.5083	6	5,0 m
B	1.0800	6	3,70 m
B	1.0233	6	2,10 m

.....

Variável dependente: rendimento

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.634489	18.94071	3.588107	18.94389

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	104.0128111	52.0064056	4.04	0.0518

Variável dependente: Oleo Diesel/h.trab

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.344827	35.04054	9.330907	26.62889

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	311.6139111	155.8069556	1.79	0.2166

.....

Variável dependente: Oleo Hidráulico/h.trab

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.903235	25.73987	0.068354	0.265556

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	0.39707778	0.19853889	42.49	<.0001

Tukey	Média	N	Comprimento
A	0.43500	6	5,0 m
B	0.28833	6	3,70 m
C	0.07333	6	5,0 m

.....

Variável dependente: Oleo Corrente/h.trab

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.907002	31.76786	0.050299	0.158333



Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	0.22570000	0.11285000	44.60	<.0001

Tukey	Média	N	Comprimento
A	0.31500	6	5,0 m
B	0.10000	6	3,70 m
B	0.06000	6	2,10 m

.....

## Apêndice C

Análise estatística da etapa de Baldeio

.....  
 Dados de Consumo, diesel, horas e rendimento foram transformados, conforme citado abaixo.

consumo = (log10(consumo)); diesel= (sqrt(diesel));  
 horas = (sqrt(horas)); rend(log10(rend));

Teste de Bartlett

Variável	Dados originais		Dados transformados	
	X <sup>2</sup> corr		X <sup>2</sup> corr	
Volume transportado (m <sup>3</sup> )	1,56	ns		
Horas trahalhadas (h)	21,12	*	10,82	ns
Diesel (l)	14,63	*	7,13	ns
Rendimento (vol/h trab.)	84,74	*	8,33	ns
Consumo (l/h)	61,20	*	2,44	ns

### Análises de variâncias

Variável dependente: volume

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.300516	48.48165	12.16225	25.08630

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	933.788470	466.894235	3.16	0.0534
Espessura	1	29.867141	29.867141	0.20	0.6556
comp*esp	2	326.632404	163.316202	1.10	0.3414

.....  
 Variável dependente: consumo

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.750579	15.41298	0.119850	0.777593

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
comprimento	2	0.70560370	0.35280185	24.56	<.0001
espessura	1	0.26600185	0.26600185	18.52	0.0001
comp*esp	2	0.65184815	0.32592407	22.69	<.0001

Tukey	Média	N	Comprimento
A	0.90222	18	5,0 m
B	0.80444	18	2.1 m
C	0.62611	18	3.7 m

Tukey	Média	N	Espessura
A	0.84778	27	grossa
B	0.70741	27	fina

.....

Variável dependente: diesel

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.507603	25.61606	1.003447	3.917258

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	2.91210210	1.45605105	1.45	0.2475
Espessura	1	10.88943733	10.88943733	10.81	0.0021
comp*esp	2	19.69930116	9.84965058	9.78	0.0003

Tukey	Média	N	espessura
A	4.3663	27	grossa
B	3.4682	27	fina

Variável dependente: horas

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.237988	28.62343	0.451687	1.578034

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
comprimento	2	1.18933716	0.59466858	2.91	0.0658
espessura	1	0.30521500	0.30521500	1.50	0.2284
comp*esp	2	0.37522466	0.18761233	0.92	0.4070

.....

Variável dependente: rendimento

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.473431	18.15229	0.179203	0.987222

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
comprimento	2	0.89314444	0.44657222	13.91	<.0001
espessura	1	0.03275741	0.03275741	1.02	0.3186

Tukey	Média	N	comprimento
A	1.13278	18	5,0 m
A	1.00889	18	3.70 m
B	0.82000	18	2.10 m

.....

## Apêndice D

### Análise estatística da etapa de Carbonização

Variável	Dados originais	
	X <sup>2</sup> corr	
Umidade (%)	6,62	ns
Diâmetro (cm)	4,45	ns
Tempo de carregamento (h)	8,81	ns
Massa seca enfiada (t)	0,24	ns
Massa de carvão vegetal (t)	1,03	ns
Massa de tiço (t)	0,80	ns
Rendimento Gravimétrico (%)	5,13	ns
Rendimento em carbono fixo (%)	4,46	ns
Teor de cinzas (%)	9,08	ns
Materiais voláteis (%)	4,11	ns
Teor de carbono fixo (%)	4,46	ns
Granulometria (mm)	10,11	ns
Índice de quebra por queda (%)	4,69	ns
Índice de quebra e abrasão por tamboramento (%)	0,73	ns

### Análises de variâncias

Variável dependente: Tempo de carregamento

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.962746	10.14809	21.57596	212.6111

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	115116.7778	57558.3889	123.64	<.0001
Espessura	1	234.7222	234.7222	0.50	0.4939
comp*esp	2	3014.7778	1507.3889	3.24	0.0824

Tukey	Média	N	comprimento
A	319.33	6	2.1 m
B	191.67	6	3.7 m
C	126.83	6	5,0 m

Variável dependente: Massa seca enfiada

R<sup>2</sup> 0.801378 CV 6.418862 Desvio Padrão 3.887120 Média 60.55778

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
comprimento	2	544.4453444	272.2226722	18.02	0.0005
espessura	1	47.6938889	47.6938889	3.16	0.1060
comp*esp	2	11.8270778	5.9135389	0.39	0.6860

Tukey	Média	N	Comprimento
A	67.510	6	2.1 m
B	60.102	6	3.7 m
B	54.062	6	5,0 m

.....

Variável dependente: Umidade

R<sup>2</sup> 0.806910 CV 25.24651 Desvio Padrão 8.311712 Média 32.92222

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	416.404444	208.202222	3.01	0.0946
Espessura	1	2307.468889	2307.468889	33.40	0.0002
comp*esp	2	128.937778	64.468889	0.93	0.4250

Tukey	Média	N	comprimento
A	39.500	6	5,0 m
A	31.133	6	2.1 m
A	28.133	6	3.7 m

Tukey	Média	N	espessura
A	44.244	9	grossa
B	21.600	9	fina

Variável dependente: Massa de Tiço

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.356934	39.86517	3.001847	7.530000

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
comprimento	2	1.35052833	0.67526417	0.07	0.9284
espessura	1	9.50560409	9.50560409	1.05	0.3312
comp*esp	2	17.65387833	8.82693917	0.98	0.4122

Variável dependente: Massa de carvão

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.728508	7.894660	1.482913	18.78375

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
comprimento	2	38.46205333	19.23102667	8.75	0.0097
espessura	1	0.43529143	0.43529143	0.20	0.6682
comp*esp	2	0.97305333	0.48652667	0.22	0.8063

Variável dependente: Rendimento gravimétrico

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.328422	9.270242	3.322223	35.83750

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	0.93422222	0.46711111	0.04	0.9588
Espessura	1	18.54858730	18.54858730	1.68	0.2310
comp*esp	2	0.57817284	0.28908642	0.03	0.9742

.....

Variável dependente: Granulometria

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.286647	14.49177	7.026438	48.48571

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	41.55416667	20.77708333	0.42	0.6745
Espessura	1	0.48133333	0.48133333	0.01	0.9246
comp*esp	2	59.15380952	29.57690476	0.60	0.5791

.....

Variável dependente: Índice de quebra por tamboramento

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.754589	13.41094	7.160482	53.39286

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	14.6308333	7.3154167	0.14	0.8699
Espessura	1	5.7203333	5.7203333	0.11	0.7497
comp*esp	2	663.3638095	331.6819048	6.47	0.0318

.....

Variável dependente: Índice de quebra por queda

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.725057	24.33865	5.672644	23.30714

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	106.3083333	53.1541667	1.65	0.2682
Espessura	1	100.4670000	100.4670000	3.12	0.1277
comp*esp	2	104.3876190	52.1938095	1.62	0.2734



.....

Variável dependente: Densidade

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.385779	11.05320	21.95640	198.6429

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	16.8333333	8.4166667	0.02	0.9827
Espessura	1	326.7000000	326.7000000	0.68	0.4419
comp*esp	2	408.8571429	204.4285714	0.42	0.6726

.....

Variável dependente: Voláteis

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.781479	10.35028	2.134375	20.62143

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	6.89666667	3.44833333	0.76	0.5092
Espessura	1	34.34700000	34.34700000	7.54	0.0335
comp*esp	2	28.47190476	14.23595238	3.12	0.1175

Tukey	Média	N	espessura
A	22,100	7	fina
B	19,134	7	grossa

.....

Variável dependente: Cinzas

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.494512	28.05103	0.186339	0.664286

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	0.02083333	0.01041667	0.30	0.7513
Espessura	1	0.04033333	0.04033333	1.16	0.3225
comp*esp	2	0.07333333	0.03666667	1.06	0.4046

.....

Variável dependente: Carbono Fixo

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.798009	2.620362	2.063909	78.76429

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	5.50833333	2.75416667	0.65	0.5568
Espessura	1	36.52033333	36.52033333	8.57	0.0264
comp*esp	2	30.45047619	15.22523810	3.57	0.0950

Tukey	Média	N	espessura
A	80,300	7	grossa
B	77,229	7	fina

Variável dependente: Rendimento em carbono Fixo

R <sup>2</sup>	CV	Desvio Padrão	Média
0.900244	7.478335	0.899537	12.02857

Fonte	GL	SQ	QM	F	Pr > F
Comprimento	2	13.33083333	6.66541667	8.24	0.0190
Espessura	1	19.20000000	19.20000000	23.73	0.0028
comp*esp	2	1.26857143	0.63428571	0.78	0.4984

Tukey	Média	N	espessura
A	13,3571	7	grossa
B	10,7000	7	fina