

ANÁLISE DAS VARIÁVEIS DE INFLUÊNCIA NA PRODUTIVIDADE DAS MÁQUINAS DE COLHEITA DE MADEIRA EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DO TERRENO, DO POVOAMENTO E DO PLANEJAMENTO OPERACIONAL FLORESTAL

Rafael Alexandre Malinovski*, Ricardo Anselmo Malinovski**, Jorge Roberto Malinovski***, Fábio Minoru Yamaji****

*Eng. Florestal, M.Sc., Klabin - ralexandre@klabin.com.br

**Eng. Florestal, M.Sc., UNESP - ricardo@itapeva.unesp.br

***Eng. Florestal, Dr., Depto. de Ciências Florestais, UFPR - jrmalino@floresta.ufpr.br

****Eng. Florestal, Dr., UNESP - fmyamaji@itapeva.unesp.br

Recebido para publicação: 19/08/2005 – Aceito para publicação: 18/07/2006

Resumo

As atividades de colheita de madeira apresentam diversas variáveis que influenciam na produtividade das máquinas que irão realizar as operações de corte, extração, desgalhamento, descascamento, sortimento e carregamento. Este trabalho teve como objetivo identificar e sugerir uma classificação para as principais variáveis físicas do terreno, do povoamento e do planejamento das operações que influenciam nas operações de colheita. Classificar as principais máquinas-base utilizadas nas atividades de colheita de madeira no Brasil e iniciar uma discussão técnica sobre as correlações entre essas variáveis e a produtividade das máquinas-base e implementos de operação. Como resultados, foram encontradas 37 variáveis principais que influenciam na produtividade de 10 diferentes tipos de máquinas que podem interagir em 17 atividades diferentes ao realizar as 5 operações básicas de colheita.

Palavras-chave: Colheita de madeira; variáveis; produtividade.

Abstract

Analysis of main variables on productivity of wood harvesting machines in function of land physical and stand characteristics and forest operation planning. The activities of wood harvesting present several variables that influence the productivity of machines used for felling, extraction, de-branching, de-barking, sorting and loading operations. This work had as objectives to identify and to suggest a classification for the main physical variables of the land, of the stand and forests operation planning that influence harvesting operations, to classify the main base-machines used in Brazil, and to begin a technical discussion about the correlations of these variables with the base-machines and operation implements productivities. As results, they were found 37 main variables that influence the productivity of 10 different types of machines that accomplishing the 5 basic operations of wood harvesting can interact in 17 different activities.

Keywords: Wood harvesting; productivity; variables.

INTRODUÇÃO

A produtividade das operações de colheita de madeira é uma das principais variáveis de viabilidade de retirada de madeira dos projetos florestais, sendo, normalmente, inversamente proporcional ao custo por m³ produzido e diretamente influenciada pelas variáveis do terreno, do povoamento e do planejamento feito pelos técnicos e exigidos pelas fontes consumidoras.

Uma adequada previsão da produtividade é de suma importância para que sejam realizados orçamentos adequados para as atividades de colheita de madeira nas empresas, bem como estudos para a viabilização de novos sistemas a serem implantados e dimensionamento das máquinas que serão alocadas para cada projeto.

Wadouski (1987) distingue as variáveis que podem afetar a produtividade das máquinas: as passíveis de identificação imediata e direta e as indiretas. Como de identificação direta, podem-se citar: os volumes a serem extraídos, a extensão da área a explorar, as características dos fustes, a porcentagem e diâmetro dos galhos, a topografia, a natureza dos solos e sua distribuição geográfica, a malha viária, a distância média de arraste, a intensidade e distribuição das chuvas e a necessidades de sortimentos diversos. Por outro lado, muitas outras variáveis são de difícil determinação (indiretas), e a intensidade com que irão afetar os trabalhos deve ser cuidadosamente estimada. Assim, o grau de erodibilidade dos solos, a estabilidade das áreas declivosas, a qualidade, habilidade e disponibilidade de mão-de-obra, as necessidades impostas pelo manejo florestal, os riscos de compactação dos solos e a possibilidade de bruscas variações climáticas impõem limitações, mais ou menos severas, à aplicação dos sistemas de colheita de madeira, em função da conjunção positiva ou negativa.

O conhecimento do comportamento da produtividade das máquinas para as diferentes condições de operação vem a ser uma importante ferramenta de trabalho na indicação e dimensionamento das máquinas necessárias para a atividade de mecanização (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998). Ainda segundo os autores, a produtividade de determinada operação é função das variáveis externas (características do sítio) e das variáveis das máquinas (principalmente as operacionais e as características das máquinas: máquina-base e implemento de operação).

As principais variáveis externas que influenciam na produtividade das máquinas nas operações de colheita de madeira e que complementam aquelas citadas por Wadouski (1987) são: a declividade do terreno, a espécie, o diâmetro da base, o diâmetro dos galhos, a altura e o volume individual das árvores, o volume por ha, o espaçamento, o tipo de intervenção que irá ocorrer, o tipo de rebrota, a necessidade de sortimento, a concentração da madeira, a qualidade da atividade anterior, a malha viária (qualidade e quantidade), a altura de tocos após a operação de corte, a distância média de extração (DME), o estaleiro (altura, largura, comprimento e a qualidade das pilhas de madeira), o comprimento da madeira, a umidade do solo, o tempo da madeira no campo, a época do ano, a qualidade do planejamento das operações (planificação), a pluviosidade, o sub-bosque, o alinhamento e os danos à floresta remanescente. Em relação às variáveis operacionais, os autores as citam como sendo o conjunto de aspectos ligados diretamente à máquina que influencia a operação e deve ser controlada com periodicidade definida pelo planejador, para o cumprimento satisfatório das operações propostas.

Como máquina-base, entende-se o meio mecânico que serve como fonte de deslocamento e força propulsora, para que uma determinada atividade seja executada por algum implemento de operação. Uma máquina-base normalmente é composta pelos seguintes componentes: um motor, um sistema de transmissão de força, um sistema de tração, um sistema de articulação, o material rodante, um sistema hidráulico, freios, comandos, eixos e um sistema elétrico e hidráulico. Também fazem parte da concepção de uma máquina itens relacionados à ergonomia, segurança, visibilidade, iluminação, acesso aos pontos de manutenção, dimensões e peso (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998). Como implemento de operação, os autores classificam todas as partes das máquinas que efetivamente realizam a operação para a qual o conjunto máquina-base e implemento de operação foi concebido. Para cada atividade, dentro da colheita de madeira, existem implementos de operação especificamente desenvolvidos, e todos eles dependem diretamente das características das máquinas-base para operar. Na seqüência de atividades de corte, extração, desgalhamento, traçamento e carregamento, os principais implementos utilizados para suas respectivas execuções, mais comumente utilizados no Brasil, tanto para a colheita de *Pinus* spp. como de *Eucalyptus* spp., são: cabeçote de *harvester* e sistemas informatizados de mensuração e sortimento, cabeçotes de *feller* (sabre, disco e faca), *slingshot*, garras de *skidder*, carrocerias (autocarregáveis e *forwarders*), guias e garras, rotatores, guinchos, *delimbers*, grades, *slashers* e garras traçadoras (MALINOVSKI; MALINOVSKI, 1998).

Kantola e Harstela (1994) afirmam que os principais elementos que influenciam na produtividade dos equipamentos utilizados e que definem as características do sistema de colheita de madeira para cada empresa são: clima, tipo de solo e relevo, espécie das árvores e suas dimensões, infraestrutura local, estado de desenvolvimento, tradição e prevalectimento de sistemas e estrutura industrial.

Objetivos

O objetivo geral deste trabalho foi identificar, relacionar e sugerir uma classificação para as principais variáveis que influenciam na produtividade das máquinas-base para colheita de madeira, visando oferecer subsídios para o planejamento das operações.

Como objetivos específicos, os seguintes tópicos foram abordados:

- Identificar as principais variáveis físicas do terreno, do povoamento e do microplanejamento que influenciam na produtividade das atividades de colheita de madeira e sugerir uma classificação para correlacioná-las com a produtividade das operações de colheita de madeira.
- Iniciar uma discussão técnica sobre a correlação entre as variáveis e a produtividade das máquinas-base para as diferentes operações.
- Classificar as principais máquinas-base utilizadas no Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Para que se pudesse gerar uma classificação das variáveis de influência nas atividades de colheita de madeira por conjunto de máquinas-base, os seguintes passos foram seguidos:

1. Levantamento e classificação das principais variáveis que influenciam na produtividade das máquinas de colheita de madeira.
2. Levantamento dos principais grupos de máquinas-base.
3. Relacionamento dessas variáveis com os tipos de máquinas.

A metodologia para o levantamento e classificação das variáveis de influência na atividade de colheita de madeira consistiu em dividir as variáveis em três grupos principais: 1º – Variáveis Físicas do Terreno; 2º – Variáveis do Povoamento; 3º – Variáveis do Planejamento Florestal. A partir dos grupos, fez-se um *brainstorm* para relacionar as variáveis de cada grupo. Em seguida, as variáveis foram segmentadas em classes. As máquinas-base, a partir de prospectos técnicos fornecidos por fabricantes de máquinas e equipamentos, também foram agrupadas conforme os principais parâmetros definidores de cada equipamento. Cada variável foi, então, correlacionada com as máquinas-base que influenciam em suas respectivas produtividades.

Na elaboração deste trabalho, foram utilizados basicamente prospectos técnicos de máquinas e equipamentos florestais, e os dados foram compilados e analisados com o software Microsoft Excel.

As máquinas escolhidas para o desenvolvimento deste trabalho são as mais representativas dos sistemas de colheita de madeira vigentes nas maiores empresas florestais brasileiras no momento. Algumas máquinas, que constituem sistemas que estão em desuso ou são utilizadas em pequena escala, por empresas de pequeno porte, não foram consideradas.

A partir de dez tipos básicos de máquinas utilizadas na colheita de madeira, disponíveis no mercado brasileiro, foram definidas 17 classes de máquinas-base capazes de realizar as cinco operações básicas de colheita de madeira, sendo cinco classes para a operação de corte, três para a extração, quatro para o desgalhamento, quatro para o sortimento e uma para o cavaqueamento.

RESULTADOS

Variáveis relacionadas à área de colheita florestal

As variáveis relacionadas à unidade homogênea de corte (talhão equando e de mesma espécie) ou projeto florestal a ser colhida apresentam interferência direta na produtividade das máquinas de colheita de madeira e foram classificadas em 27, sendo seis referentes às características físicas do terreno e 21 referentes às características do povoamento.

Variáveis físicas do terreno

As principais variáveis físicas do terreno obtidas foram: pedregosidade, leiras, sub-bosque, capacidade de sustentação do solo, declividade e tipo de solo.

As principais definições utilizadas para classificar as variáveis e as classes sugeridas obedeceram aos seguintes critérios:

1. Pedregosidade: corresponde à microtopografia do terreno e caracteriza-se pela presença natural de obstáculos de origem rochosa que interfiram no deslocamento das máquinas, bem como dificultem as operações de corte, devido aos danos que podem ocasionar no conjunto de corte. Os obstáculos foram subdivididos em três classes:
 - Classe 1: nenhuma ocorrência natural de obstáculos de origem rochosa.

- Classe 2: pequena presença de obstáculos de origem rochosa, com leves restrições ao deslocamento de máquinas e leves restrições relacionadas à operação de corte.
 - Classe 3: presença de obstáculos de origem rochosa, com fortes restrições ao deslocamento de máquinas e às operações de corte.
2. Leiras: caracterizam-se pela presença de obstáculos de origem lenhosa, ordenados sobre o terreno, ocasionados pela limpeza para o plantio do povoamento e que interfiram no deslocamento das máquinas, sendo:
 - Classe 1: nenhuma ocorrência de obstáculos de origem lenhosa.
 - Classe 2: pequena presença de obstáculos de origem lenhosa, com leves restrições ao deslocamento de máquinas.
 - Classe 3: presença de obstáculos de origem lenhosa, com fortes restrições ao deslocamento de máquinas.
 3. Sub-bosque: caracteriza-se pela presença de arbustos e árvores indesejáveis, sem uso econômico momentâneo, que interfiram no deslocamento das máquinas e na visibilidade dos operadores.
 - Classe 1: nenhuma ocorrência de sub-bosque.
 - Classe 2: pequena presença de sub-bosque, com leves restrições ao deslocamento de máquinas e à visibilidade dos operadores.
 - Classe 3: presença de sub-bosque, com fortes restrições ao deslocamento de máquinas e à visibilidade dos operadores.
 4. Capacidade de sustentação do solo: corresponde à resistência do solo à pressão efetuada pelas máquinas sobre ele e caracteriza-se pelas restrições impostas pelas condições de drenagem do terreno, umidade, tipo e cobertura do solo, que influenciam o deslocamento das máquinas no momento do ano em que será feita a colheita da madeira da área.
 - Classe 1: solo firme, bem drenado, pouco úmido e com cobertura vegetal, em níveis de nenhuma interferência ao deslocamento das máquinas sobre o terreno no momento da colheita.
 - Classe 2: solo firme, drenagem precária, pouco úmido e com cobertura vegetal, apresentando restrições com tempo chuvoso, com alguma interferência ao deslocamento das máquinas sobre o terreno no momento da colheita.
 - Classe 3: solo pouco firme, drenagem precária, úmido e com cobertura vegetal, apresentando restrições com tempo chuvoso, com média interferência ao deslocamento das máquinas sobre o terreno no momento da colheita.
 - Classe 4: solo úmido, drenagem ruim, sem cobertura vegetal, apresentando fortes restrições com tempo chuvoso, com alta interferência ao deslocamento das máquinas sobre o terreno no momento da colheita.
 - Classe 5: solo sempre úmido, drenagem ruim, sem cobertura vegetal, apresentando fortes restrições com tempo chuvoso, com extrema dificuldade no deslocamento das máquinas sobre o terreno.
 5. Declividade do terreno: inclinação da superfície do terreno em percentagem nas seguintes classes: Classe 1: $\leq 15\%$; Classe 2: $15,1 \leq 25\%$; Classe 3: $25,1 \leq 35\%$; Classe 4: $> 35,1\%$.
 6. Tipo de solo: genericamente são três as classes de solos mais comuns nas propriedades florestais, a partir das quais se derivam os demais tipos de solo, podendo vir a causar restrições às operações de colheita de madeira. As classes genéricas são: Classe 1: Argilosos; Classe 2: Arenosos; Classe 3: Hidromórficos.

Variáveis do povoamento

As variáveis da unidade homogênea de corte levantadas que influenciam na produtividade das máquinas de colheita de madeira são: espécie plantada, espaçamento médio atual na linha, espaçamento médio atual na entrelinha, número atual de árvores por hectare, volume a ser colhido por classe de declividade do projeto em relação ao tipo de solo, volume individual médio dos fustes, peso individual médio das árvores, diâmetro médio da base das árvores, altura total média das árvores, diâmetro da ponta fina dos fustes, altura comercial média, classe de diâmetro dos galhos até a altura comercial no interior da unidade homogênea de corte, classe de diâmetro dos galhos até a altura comercial na bordadura da unidade homogênea de corte, percentual médio de fustes bifurcados na base das árvores, percentual médio de fustes bifurcados nos troncos das árvores, comprimento da copa em relação à altura comercial,

qualidade dos fustes, alinhamento em relação à inclinação lateral (declividade transversal), tipo de casca, número de árvores por hectare por classe de diâmetro na base e número de árvores por hectare por classe de altura comercial.

As principais definições e classes levantadas estão definidas abaixo.

- ✓ Espécie plantada: refere-se ao gênero da qual é composta a unidade homogênea de corte. Para este trabalho, restringiram-se as opções possíveis a *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp.
- ✓ Espaçamento médio atual da linha: refere-se à distância média do espaçamento atual na linha de plantio da unidade homogênea de corte, sendo o valor expresso em metros.
- ✓ 5. Espaçamento médio atual na entrelinha: refere-se à distância média do espaçamento atual na entrelinha de plantio da unidade homogênea de corte, sendo o valor expresso em metros.
- ✓ Número atual de árvores por hectare: refere-se à quantidade atual de árvores existentes, por hectare, na unidade homogênea de corte, sendo o valor expresso em unidades por hectare.
- ✓ Volume a ser colhido por classe de declividade do projeto em relação ao tipo de solo: refere-se ao volume de madeira disponível para ser colhido em cada classe de declividade, em relação à classe de tipo de solo da unidade homogênea de corte, sendo o valor expresso em metros cúbicos para cada interação.
- 6. Volume individual médio dos fustes: caracteriza-se pelo volume comercial médio dos fustes da unidade homogênea de corte, de acordo com o diâmetro da ponta fina considerado, sendo o valor expresso em metros cúbicos.
- 7. Peso individual médio das árvores: caracteriza-se pelo peso médio das árvores, incluindo fuste, galhos e folhas ou acículas, da unidade homogênea de corte, sendo o valor expresso em toneladas.
- 8. Diâmetro médio da base das árvores: refere-se ao diâmetro médio da base das árvores da unidade homogênea de corte, sendo o valor expresso em centímetros.
- 9. Altura total média das árvores: caracteriza-se pela altura total média das árvores da unidade homogênea de corte, sendo o valor expresso em metros.
- 10. Diâmetro da ponta fina dos fustes: refere-se ao diâmetro médio da ponta fina dos fustes, definido pelo planejador, sendo o valor expresso em centímetros.
- 11. Altura comercial média: refere-se à altura média dos fustes, após realizado o destopamento, conforme o diâmetro definido no planejamento para a ponta fina, sendo o valor expresso em metros.
- 12. Classe de diâmetro dos galhos até a altura comercial no interior do povoamento: refere-se ao diâmetro médio dos galhos das árvores existentes no interior da unidade homogênea de corte, até a altura comercial do fuste. Essas classes foram subdivididas em: Classe 1: 1–3 cm; Classe 2: 3,1–6 cm; Classe 3: 6,1–9 cm; Classe 4: > 9 cm.
- 13. Classe de diâmetro dos galhos até a altura comercial na bordadura do povoamento: refere-se ao diâmetro médio dos galhos das árvores existentes na bordadura da unidade homogênea de corte, até a altura comercial do fuste, sendo subdivididos em: Classe 1: 1–3 cm; Classe 2: 3,1–6 cm; Classe 3: 6,1–9 cm; Classe 4: > 9 cm.
- 14. Percentual médio de fustes bifurcados na base das árvores (até 40 cm): refere-se ao percentual médio de fustes bifurcados na base das árvores existentes na unidade homogênea de corte. O valor deve ser referente a 20 classes que variam de 0 a 100% com limites de 5 em 5% (0%–5%; 5,1%–10% etc.).
- 15. Percentual médio de fustes bifurcados nos troncos das árvores (acima de 40 cm): refere-se ao percentual médio de fustes bifurcados no tronco existentes na unidade homogênea de corte. O valor deve ser referente a 20 classes que variam de 0 a 100%, com limites de 5 em 5% (0%–5%; 5,1%–10% etc.).
- 16. Comprimento da copa em relação à altura comercial: refere-se ao comprimento médio da copa até a altura comercial das árvores existentes na unidade homogênea de corte. Classe 1: < 3 m; Classe 2: 3,1–6 m; Classe 3: 6,1–9 m; Classe 4: > 9 m.
- 17. Qualidade dos fustes: refere-se à qualidade média dos fustes da unidade homogênea de corte em relação a sua tortuosidade.
 - Classe 1: Retos – menos que 20 % dos fustes são tortos.
 - Classe 2: Tortos – de 20 a 50% dos fustes são tortos.
 - Classe 3: Muito tortos – mais que 50 % dos fustes são tortos.

- 18. Declividade Transversal (Alinhamento X Inclinação lateral): refere-se à declividade transversal média do caminho a ser trafegado pelas máquinas destinadas à colheita. O valor deve ser referente a 17 classes que variam de 0 a 90% em classes de 5 em 5, sendo a primeira de 0–5%.
- 19. Tipo de casca: refere-se ao tipo de casca das árvores de eucaliptos existentes na unidade homogênea de corte. Essa opção não está disponível para pinus devido à tecnologia disponível atualmente para o descascamento com cabeçotes funcionar somente com o eucalipto. Dessa maneira, o tipo de casca deve enquadrar-se em 3 opções: Lisa (ex: *Eucalyptus dunnii*); Áspera (ex: *Eucalyptus grandis*); Fissurada (ex: *Eucalyptus viminalis*).
- 20. Número de árvores por hectare por classe de diâmetro na base: refere-se ao número de árvores existentes na unidade homogênea de corte por classe de diâmetro da base. A quantidade de árvores deve ser referente a 14 classes existentes, e caso não haja valores para uma ou mais classes, estas devem ser zeradas. As classes são as seguintes: < 10 cm; 10,1 a 70 de 5 em 5 cm; > 70,1 cm.
- 21. Número de árvores por hectare por classe de altura comercial: refere-se ao número de árvores existentes na unidade homogênea de corte por classe de altura comercial, até o diâmetro da ponta fina. A quantidade de árvores deve ser referente a 7 classes, e no caso de não haver valores, estas devem ser zeradas. As classes são as seguintes: < 10 m; 10,1 a 35 de 5 em 5 m; > 35,1 m.

Variáveis relacionadas ao planejamento operacional

Foram definidas 25 variáveis que influenciam na produtividade das máquinas relacionadas ao planejamento da colheita de madeira: tipo de intervenção, número de árvores retiradas no desbaste seletivo, número de árvores retiradas no desbaste sistemático, número da linha do desbaste sistemático, alcance lateral do desbaste seletivo, sortimento único com comprimento padrão, sortimentos, disposição da pilha em relação à estrada, altura média das pilhas, comprimento médio das pilhas, largura média das pilhas, descascamento, distância média de extração, altura dos tocos, qualidade das operações de corte, qualidade da operação de extração, declividade máxima para as operações, tipo de solo para as operações, desempenho dos operadores, disponibilidade operacional da máquina, número de turnos, número de horas trabalhadas por turno, dias úteis trabalhados por mês, número de máquinas disponíveis para as operações e número de dias planejados para determinada operação.

Basicamente, essas variáveis estão relacionadas à forma de operação, à disposição com que as toras ou fustes devem ser colocados à beira da estrada e à utilização diária das máquinas. Assim, as principais definições utilizadas para a classificação dessas variáveis obedeceu aos seguintes critérios:

1. Tipo de intervenção: caracteriza-se pela escolha do regime de manejo que as máquinas de colheita de madeira irão realizar no povoamento: 1º Desbaste; 2º Desbaste; 3º Desbaste; 4º Desbaste; Corte final; Corte final com condução de rebrota.
2. Número de árvores a serem retiradas no desbaste seletivo: refere-se à quantidade de árvores que serão seletivamente retiradas do povoamento caso seja escolhido, na lista de tipo de intervenção, algum regime de desbaste. O valor deve ser referente ao número de árvores por hectare.
3. Número de árvores a serem retiradas no desbaste sistemático: refere-se à quantidade de árvores planejadas para serem retiradas do povoamento, sistematicamente, no caso de ser escolhido, na lista de tipo de intervenção, algum regime de desbaste. O valor deve ser referente ao número de árvores por hectare.
4. Número da linha do desbaste sistemático: refere-se ao número da linha de árvores do povoamento em que se irá fazer o desbaste sistemático.
5. Alcance lateral no desbaste seletivo: refere-se ao alcance lateral da máquina de colheita de madeira na operação de corte no caso de haver um desbaste seletivo (< 2 m; 2–4 m; 4–6 m; 6–8 m; > 8 m).
6. Sortimento único: refere-se à utilização de um comprimento único e padrão para o traçamento de fustes (em metros).
7. Sortimentos variados: refere-se ao número de sortimentos diferentes que são usados para o traçamento dos fustes.
8. Disposição das pilhas de madeira em relação à estrada: refere-se ao posicionamento que o eixo principal das toras ou fustes terá em relação à estrada. Pode ser: paralelo (quando for ao longo da estrada) ou perpendicular (quando sua intersecção formar ângulo reto com a estrada).
9. Altura média das pilhas: refere-se à altura média que as pilhas de toras ou fustes terão após a sua disposição à beira da estrada (< 1,0 m; 1,0 a 4,0 m, de 0,5 em 0,5 m; > 4,0 m).

10. Largura média das pilhas: refere-se à largura média que as pilhas de toras ou fustes terão após a sua disposição à beira da estrada florestal, podendo ser: < 2 m; 2 a 15 m, de 1 em 1 m; no comprimento do fuste.
11. Comprimento médio das pilhas: refere-se ao comprimento médio que as pilhas de toras ou fustes terão após a sua disposição à beira da estrada (< 5 m; 5 a 50 m, de 5 em 5 m; > 50 m; no comprimento do fuste).
12. Descascamento: refere-se à inclusão da operação de descascamento, no caso da simulação de um povoamento de eucaliptos. Com casca: não se deseja fazer o descascamento; Sem casca: deseja-se o descascamento.
13. Distância média de extração (DME): refere-se à distância média de extração na qual se planeja que a máquina designada para a operação de extração se desloque, podendo ser: < 50 m; de 50 a 400 m, de 25 em 25 m; de 400 a 800 m, de 50 em 50 m; de 800 a 1000 m; de 100 em 100 m; > 1000 m.
14. Altura dos tocos: refere-se à altura média dos tocos deixados pela operação de corte, que, porventura, venham a interferir nas operações de corte e extração (< 10 cm; 10–20 cm; 20–30 cm; > 30 cm).
15. Qualidade das operações de corte: refere-se à qualidade da disposição das toras ou fustes deixados pela operação de corte, para a extração florestal, sendo subdividida em:
 - Boa: as toras ou fustes estão dispostos de forma ordenada, sem nenhuma restrição para a operação de extração.
 - Regular: as toras ou fustes estão dispostos de forma semi-ordenada, com poucas restrições para a operação de extração.
 - Ruim: as toras ou fustes estão dispostos de forma não-ordenada, com restrições para a operação de extração, comprometendo o tempo de carga da máquina.
16. Qualidade das operações de extração: refere-se à qualidade da disposição das toras ou fustes deixados pela operação de extração, para a operação de carregamento florestal, sendo subdividida em:
 - Boa: as toras ou fustes estão dispostos de forma ordenada, sem nenhuma restrição para a operação de carregamento.
 - Regular: as toras ou fustes estão dispostos de forma semi-ordenada, com poucas restrições para a operação de carregamento.
 - Ruim: as toras ou fustes estão dispostos de forma não-ordenada, com restrições para a operação de carregamento, comprometendo o tempo de carga do caminhão.
17. Declividade máxima para as operações: refere-se à declividade máxima que o planejador deseja na operação das máquinas. O valor deve ser definido em conjunto com o tipo de solo:
 - 15 % - declividade máx. de até 15 %, 25 % - declividade máx. de até 25 %.
 - 35 % - declividade máx. de até 35 %, >35% - declividade máx. superior a 35 %.
18. Tipo de solo: refere-se aos tipos de solo, que o planejador irá definir, onde as máquinas de colheita de madeira irão operar. Os tipos genéricos de solo possíveis de escolha são: Argiloso; Arenoso; Hidromórfico; Argiloso e Arenoso; Argiloso e Hidromórfico; Arenoso e Hidromórfico; Argiloso, Arenoso e Hidromórfico.
19. Desempenho dos operadores: refere-se ao tempo de experiência, qualidade e produtividade alcançadas pela média dos operadores, para cada tipo de máquina escolhido em cada operação. Os níveis de desempenho devem ser referentes às seguintes opções:
 - Alto: operadores bem experientes, com excelente qualidade de operação e altas médias de produtividade.
 - Médio: operadores treinados, com qualidade de operação e produtividade médias.
 - Baixo: operadores em treinamento, com qualidade de operação e de produtividade baixa.
20. Disponibilidade operacional: refere-se ao tempo em que a máquina está apta a operar, descontados, neste caso, a locomoção, o tempo de parada do operador, o abastecimento, a manutenção preventiva etc. O valor deve ser em percentagem.
21. Número de turnos: refere-se ao número de turnos que serão cumpridos, diariamente, com cada máquina. O valor deve estar entre 1 e 4.
22. Número de horas por turno: refere-se ao número de horas trabalhadas em cada turno de trabalho pelo operador da máquina. O valor deve ser em horas.

23. Dias úteis de operação por mês: refere-se ao número mensal médio de dias planejados em que será operada determinada máquina. Nesse caso, podem-se descontar domingos, feriados, dias de chuva etc. O valor deve ser em número de dias.
24. Número de máquinas disponíveis: refere-se ao número de máquinas disponíveis para a operação. O valor deve ser em número de máquinas.
25. Número de dias disponíveis para a operação: refere-se ao número de dias disponíveis para se colher um determinado volume de madeira planejado. O valor deve ser em número de dias.

Tipos básicos e classes definidas para máquinas-base e implementos em função das operações de colheita de madeira

A tabela 1 mostra os 10 tipos de máquinas-base capazes de realizar pelo menos uma das cinco principais operações de colheita de madeira: *harvester* de pneu, *forwarder*, Escavadeira Hidráulica, motosserra, trator agrícola, *skidder*, *feller* de pneu, triciclo, carregador florestal e cavaqueador. As principais descrições e aplicações de cada uma resultam em dezessete opções diferentes de classes de máquinas-base descritas a seguir:

Tabela 1. Principais máquinas-base utilizadas nas operações de colheita de madeira.

Table 1. Main harvesting operations utilized in the main basic machines.

| Tipos básicos de máquinas | Operações de colheita de madeira | | | | |
|---------------------------|----------------------------------|----------|---------------|------------|---------------|
| | Corte | Extração | Desgalhamento | Sortimento | Cavaqueamento |
| <i>Harvester</i> de Pneu | X | | X | X | |
| <i>Forwarder</i> | | X | | | |
| Escavadeira Hidr. | X | | X | X | |
| Motosserra | X | | X | X | |
| Trator agrícola | | X | | | |
| <i>Skidder</i> | | X | | | |
| <i>Feller</i> de Pneu | X | | | | |
| Triciclo | X | | | | |
| Carregador florestal | | | X | X | |
| Cavaqueador | | | | | X |

- *Harvester*: trator de pneus, com tração em quatro ou seis rodas, com estrutura desenvolvida para o acoplamento de uma grua e um cabeçote para efetuar as operações de corte, desgalhamento, sortimento e eventualmente o descascamento.
- *Forwarder*: trator de pneus, com tração em quatro, seis ou oito rodas, com estrutura desenvolvida para a operação de extração de toras do interior do povoamento até os estaleiros.
- Escavadeira Hidráulica: tratores que se locomovem por meio de esteiras, com opções de cabinas nivelantes com estruturas capazes de acoplar implementos como cabeçotes de *feller* de disco, sabre, tesoura ou do tipo *slingshot*, garras traçadoras e cabeçotes de *harvesters*, e desgalhadores mecânicos do tipo *stroke delimeter*, podendo efetuar as operações de corte, desgalhamento e sortimento.
- Motosserra: máquinas utilizadas para as operações de corte, desgalhamento e sortimento, que exigem contato direto do homem com as árvores, fustes ou toras.
- Trator agrícola: trator de pneu com tração em duas ou quatro rodas, com articulação nas rodas, utilizado para a operação de extração, com estrutura para o acoplamento de garras para o arraste, guinchos ou carretas e gruas para baldeio. Pode haver também opções de utilização de tratores agrícolas para operações de remontes de pilhas nos estaleiros e carregamento de caminhões.
- *Skidder*: trator de pneus com tração nas quatro rodas e chassi articulado, utilizado para a operação de extração, com estrutura para o acoplamento de garras e guinchos, podendo, eventualmente, efetuar a operação de desgalhamento por meio de grades desgalhadoras.
- *Feller* de pneu: trator de pneus com tração nas quatro rodas e chassi articulado, utilizado para a operação de corte, com estrutura para o acoplamento de cabeçotes de *feller* de disco ou tesoura.
- Triciclo: trator de pneus com tração em duas rodas, sendo a terceira para o apoio da máquina, utilizado para a operação de corte e com estrutura para o acoplamento de cabeçotes de *feller* de disco, de sabre e de tesoura.

- Carregador florestal: tratores autopropelidos com esteiras ou fixos em longarinas de caminhões, com estrutura para a utilização de desganhadores mecânicos do tipo *delimber* e/ou traçadores mecânicos do tipo *slasher*, utilizados para as operações de desganhamento e sortimento, podendo também efetuar a operação de carregamento de caminhões.
- Cavaqueador: tratores fixos ou autopropelidos, com estruturas desenvolvidas para o desganhamento, descascamento e picagem das árvores ou fustes.

Correlação entre as variáveis de influência na produtividade e as classes de máquinas-base

Foram relacionadas 37 variáveis que podem influenciar a produtividade das máquinas de colheita de madeira. Devido à possibilidade de algumas máquinas realizarem mais de uma operação, estas foram correlacionadas de forma a possibilitar o trabalho de operações, separadamente ou em conjunto. Dessa forma, a classe de *harvester* para corte também inclui as variáveis relacionadas a desganhamento e sortimento; a classe de *harvester* para desganhamento possui as variáveis para sortimento, e o *harvester* para sortimento possui, somente, as variáveis relacionadas à operação de sortimento.

Os quadros preenchidos na tabela 2 demonstram quais são as variáveis que influenciam a produtividade das classes de máquinas-base.

DISCUSSÃO

Pode-se verificar que as variáveis que influenciam na produtividade se agrupam conforme a atividade na qual as máquinas estão operando. Esse agrupamento das variáveis ocorre devido à localidade onde as operações são efetuadas e, dessa maneira, as variáveis relacionadas ao povoamento e ao terreno estão influenciando mais as operações de corte e extração, enquanto que as variáveis mais relacionadas às características do fuste e ao estaleiro estão influenciando mais nas operações de desganhamento e sortimento.

Variáveis do povoamento

A variável *espaçamento na linha* influencia a produtividade das máquinas de colheita, principalmente, a operação de corte, na qual elas têm de se deslocar entre uma árvore e outra. Quanto maior for a distância entre as árvores, maior será o tempo para o deslocamento e, conseqüentemente, menor a produtividade. As máquinas afetadas por essa variável são: o *harvester*, o trator de esteira, a motosserra, o *feller* e o triciclo, para a operação de corte, e *harvester* na operação de desganhamento e eventual sortimento, caso tenha havido alguma operação anterior, a qual somente tenha derrubado as árvores.

O espaçamento na entrelinha influencia a produtividade das máquinas de colheita, principalmente nas operações de corte e extração. Máquinas como *harvesters* e tratores de esteira, que possuem gruas ou braços, podem andar em uma linha e ir cortando linhas laterais; já as máquinas como o *feller*, o triciclo e a motosserra, conforme for a operação, necessitam de espaço para derrubar as árvores. *Forwarders*, tratores agrícolas e *skidders* são afetados diretamente pelo espaçamento na entrelinha, quando em operações de desbaste, em que há a necessidade do deslocamento no interior do povoamento. Genericamente, pode-se dizer que, quanto menor o espaçamento na entrelinha, maior será a produtividade das máquinas de corte e menor a das de extração.

O diâmetro da base das árvores é uma variável fundamental para o dimensionamento dos equipamentos que serão utilizados no corte e na extração do povoamento. Cada equipamento possui um intervalo de diâmetro ótimo para sua operação, sendo que tanto diâmetros muito grandes, que alcançam o limite do implemento e forçam o seu trabalho, como diâmetros muito pequenos, que subestimam a capacidade de operação, diminuem a produtividade das máquinas. As principais máquinas que sofrem influência desta variável são: os de *harvesters*, motosserras, *fellers*, tratores de esteira e triciclos, nas operações de corte; *skidders* e tratores agrícolas para a extração, e *harvesters* para o desganhamento e eventual sortimento.

A variável volume individual das árvores não deve ser confundida com o peso da árvore, mesmo que influenciem de maneira similar a produtividade das máquinas. O peso atua diretamente nas máquinas que efetuam a operação de corte ou que necessitam manusear a árvore com galhos, acículas e fuste, como os *harvesters*, os *fellers*, os triciclos, os tratores com esteira e as motosserras; e, também, as máquinas de extração: *skidders* e tratores agrícolas. Já, as máquinas que operam com a árvore desganhada, ou seja, com o fuste, sofrem maior influência do volume ou peso do fuste, como no caso das que irão efetuar somente a

operação de sortimento: os *harvesters*, tratores de esteira, motosserras e carregadores florestais. Também os *skidders* e tratores agrícolas serão influenciados pelo volume individual, quando as árvores forem previamente desgalhadas. Devido ao fato do volume individual e do peso da árvore serem função direta do diâmetro da base, cada máquina e seu respectivo implemento de operação, possuem uma produtividade ótima para um intervalo de volume e peso, sendo que, tanto para valores acima como para baixo deste ótimo, existem perdas de produtividade.

Tabela 2. Relação das principais variáveis de influência na produtividade das classes de máquinas-base.
Table 2. Relation of the main variables that influence in the base-machines productivity.

| Relação das principais variáveis de influência na produtividade nas classes de máquinas-base | Classes das máquinas | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|----------------------|----------------------------|--------------------|----------------|----------|-----------|----------------------------|---------|---------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------|
| | Harvester p/corte | Trator de esteiras p/corte | Motosserra p/corte | Feller de pneu | Triciclo | Forwarder | Trator agrícola p/extração | Skidder | Harvester p/desgalhamento | Trator de esteiras p/desgalh. | Motosserra p/desgalhamento | Carregadores p/desgalhamento | Harvester p/sortimento | Trator de esteiras p/sortimento | Motosserra p/sortimento | Carregadores p/sortimento | Cavaqueador |
| Variáveis | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
| Espaçamento na linha | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Espaçamento na entrelinha | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Declividade | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de solo | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Capacidade de sustentação | 5 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Alinhamento X Inclinação | 6 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura dos tocos | 7 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Pedregosidade | 8 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Leiras | 9 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sub-bosque | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Performance do operador | 11 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Turno | 12 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de intervenção | 13 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Qualidade da mad. do corte | 14 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Qualidade da mad. extração | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| DME | 16 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo do estaleiro | 17 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura do estaleiro | 18 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Largura do estaleiro | 19 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Comprimento do estaleiro | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Sortimento | 21 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Comprimento da tora | 22 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Descascamento | 23 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diâmetro da base | 24 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Volume individual | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Peso da árvore | 26 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Comprimento da copa | 27 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura total | 28 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diâmetro da ponta fina | 29 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Altura comercial | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diâmetro galhos bordadura | 31 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Diâmetro galhos interior | 32 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tortuosidade | 33 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Volume / ha | 34 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Árvores bifurcadas | 35 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Fustes bifurcados | 36 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Tipo de casca | 37 | | | | | | | | | | | | | | | | |

O comprimento da copa, por ser um dos componentes do peso da árvore, influencia nas operações de corte, extração e desgalhamento. Árvores com maior copa possuem maior peso, necessitando assim, maior técnica para serem derrubadas, além de causarem maior atrito para o arraste e gasto maior de tempo para o seu desgalhamento. Desta maneira, as máquinas que são influenciadas por esta variável são: os *harvesters*, os *fellers*, os triciclos, os tratores de esteira e as motosserras, na operação de corte; os *harvesters*, os carregadores florestais, os tratores de esteira e as motosserras, na operação de desgalhamento; e os *skidders* e tratores agrícolas, na operação de extração. Os cavaqueadores fixos, que são alimentados com árvores inteiras, também são influenciados por esta variável.

A variável altura total influencia a produtividade das máquinas que cortam e manuseiam as árvores em pé e as depositam no chão, como no caso dos *fellers* e dos triciclos, e, também, nas máquinas de extração, como *skidders* e tratores agrícolas, que necessitam arrastar estas árvores. A operação de cavaqueamento, na qual as máquinas são alimentadas com árvores inteiras, também é influenciada no seu desempenho.

O diâmetro dos galhos da bordadura e o diâmetro dos galhos do interior do povoamento possuem uma influência direta nas máquinas que efetuam o desgalhamento das árvores. *Harvesters*, tratores com esteiras e motosserras, nas operações de corte com possibilidade de desgalhamento; *harvesters*, carregadores florestais, tratores com esteiras e motosserras, na operação de desgalhamento; e, *skidders* e tratores agrícolas, na operação de extração em conjunto com uma grade desgalhadora, são as máquinas que, diretamente, são influenciadas por estas variáveis.

As variáveis tortuosidade e fustes bifurcados estão, diretamente, relacionadas às máquinas que precisam fazer com que o fuste passe por dentro do implemento para as operações de desgalhamento, sortimento ou ainda, o cavaqueamento, com exceção da motosserra, que, no caso das bifurcações, tem o serviço de desgalhe e sortimento aumentados. Desta maneira, as máquinas do tipo: *harvesters*, tratores com esteira e motosserras para corte e posterior desgalhamento e traçamento; *skidders* e tratores agrícolas, nas operações de extração, utilizando grades para o desgalhamento; *harvesters*, motosserras, tratores com esteira e carregadores florestais para desgalhamento, com possibilidade de sortimento; *harvesters*, motosserras, tratores com esteira e carregadores florestais para sortimento; e, cavaqueadores para a operação de cavaqueamento, sofrem influência em suas produtividades devido a tortuosidades nos fustes.

O volume por hectare disponível para ser extraído de um povoamento influencia diretamente a produtividade dos *forwarders* utilizados para extração, pois, quanto maior for a quantidade de madeira em uma determinada área, maior será a produtividade dos meios de extração, devido à diminuição da necessidade de deslocamento para a complementação da carga.

As árvores bifurcadas na base representam uma variável que influencia a produtividade das máquinas de corte, dificultando, muitas vezes, o agarramento completo do fuste pelo implemento de operação, exigindo dois ou mais cortes na base das árvores ou ainda, obrigando que a mesma seja cortada alguns decímetros acima da base. Isto causa perdas de madeira, tocos muito altos que dificultarão o tráfego na área, e ainda, trabalhos para rebaixamento dos mesmos. As máquinas que estão relacionadas a esta variável são: os *harvesters*, os tratores com esteiras, os triciclos, as motosserras e os *fellers*.

Variáveis do terreno

A declividade é uma das variáveis limitantes nas operações de colheita de madeira, que ocorrem dentro do povoamento, e, genericamente, pode-se dizer que, quanto maior for a declividade, maiores serão as limitações ao deslocamento da máquina no terreno, e, por conseguinte, menor será a produtividade. Desta maneira, as produtividades do *harvester*, do trator de esteiras, da motosserra, do *feller* e do triciclo, quando na operação de corte, e do *forwarder*, do *skidder* e do trator agrícola, na operação de extração, são fortemente influenciadas pela declividade.

A variável tipo de solo está relacionada à produtividade das máquinas de colheita de madeira porque prejudica o desgaste de materiais, como sabres e dentes dos discos de cabeçotes, e, em condições adversas do tempo, os solos podem se tornar mais suscetíveis à patinação dos pneus. Assim sendo, a produtividade do *harvester*, do trator de esteiras, da motosserra, do *feller* e do triciclo, quando na operação de corte, e do *forwarder*, do *skidder* e do trator agrícola, na operação de extração, é influenciada pelo tipo de solo.

A principal limitação da capacidade de sustentação do solo ocorre porque alguns solos, quando muito úmidos, com drenagem ruim e sem cobertura vegetal, tornam-se impraticáveis para o deslocamento de máquinas, principalmente para *fellers*, *skidders* e tratores agrícolas. A baixa capacidade de sustentação de alguns tipos de solos, aliada à umidade excessiva, pode causar patinamento, em especial, nas áreas que exigem maior esforço das máquinas, como, por exemplo, o desgalhamento com grade. A patinação excessiva e o deslizamento dos pneus diminuem a produtividade de *harvesters*, tratores de esteiras, *fellers* e triciclos submetidos às operações de corte; *forwarders*, tratores agrícolas e *skidders*, para extração e *harvesters* e tratores agrícolas para o desgalhamento.

A variável alinhamento versus inclinação lateral ou declividade lateral influencia a produtividade das máquinas de colheita de madeira, que operam no interior do povoamento. Quanto maior for a inclinação lateral, maiores serão as dificuldades de estabilização da máquina no terreno e, também, haverá maiores dificuldades para o direcionamento da derrubada das árvores. Máquinas que possuem sistemas de nivelamento de cabina ou articulações independentes do eixo, tornam-se menos sensíveis a esta variável; porém, mesmo para estas, existem limitações. As principais máquinas afetadas por esta variável são: *harvesters*, tratores de esteira, *fellers* e triciclos, na operação de corte e *forwarders*, tratores agrícolas e *skidders* na operação de extração.

A altura dos tocos deixados pela atividade de corte pode comprometer a produtividade da operação de extração, pois, o ato de se passar por cima de tocos muito altos com máquinas entre cinco e trinta toneladas, quando carregadas, pode comprometer a vida útil de pneus e esteiras, além de, algumas vezes, obrigar as máquinas a efetuarem manobras desnecessárias, ou até exigirem o trabalho de rebaixamento de tocos, feito por um motosserrista ou algum outro trator de esteiras equipado com lâmina. As principais máquinas afetadas por esta variável são: *harvesters*, tratores de esteira e triciclos, na operação de corte; *forwarders*, tratores agrícolas e *skidders*, na operação de extração e *harvesters* e tratores de esteira, na operação de desgalhamento e eventual sortimento.

A variável pedregosidade, caracterizada pela granulometria das pedras no terreno, pode influenciar a produtividade das máquinas que trafegam pelo terreno, bem como daquelas que efetuam o corte das árvores. As principais máquinas afetadas por esta variável são: *harvester*, trator de esteiras, motosserra, *feller* e triciclo, na operação de corte, e *forwarder*, *skidder* e trator agrícola, na operação de extração.

As leiras influenciam no deslocamento das máquinas pelo terreno, gerando instabilidade, quando as mesmas se encontram em operação. Desta maneira, a produtividade do trator de esteiras, do *feller* e do triciclo, quando na operação de corte e do *forwarder*, do *skidder* e do trator agrícola na operação de extração, pode ser afetada pela presença das leiras.

A variável sub-bosque, dependendo de sua intensidade, pode afetar a produtividade das máquinas de colheita de madeira diminuindo a visibilidade dos operadores que trabalham com as máquinas de corte. As principais máquinas que podem ser afetadas por esta variável são: o *harvester*, o trator de esteiras, o *feller* e o triciclo para a operação de corte.

Variáveis do planejamento operacional

A qualidade da madeira da extração influencia a produtividade das máquinas de operações de extração, desgalhamento e sortimento. O melhor ordenamento das toras, fustes ou árvores pode exigir maior gasto de tempo das máquinas que irão desempenhar esta função, causando diminuição da produtividade e influenciando a produção da atividade subsequente que pode ser o desgalhamento, o sortimento ou o carregamento. Desta maneira, as máquinas afetadas por esta variável são: os *forwarders*, os *skidders* e os tratores agrícolas utilizados na operação de extração; os *harvesters*, tratores de esteira, motosserras e carregadores florestais, nas operações de desgalhamento; e, *harvesters*, tratores de esteira, motosserras e carregadores florestais nas operações de sortimento.

A distância média de extração (DME), é uma variável direta da função de produtividade das máquinas de extração. Uma maior distância a ser percorrida faz com que haja um maior gasto de tempo no deslocamento da máquina, tanto vazia como carregada, e, em conseqüência, uma diminuição da produtividade do meio de operação. Assim sendo, as máquinas afetadas por esta variável são: os *forwarders*, os *skidders* e os tratores agrícolas utilizados para extração.

O tipo de estaleiro pode influenciar a produtividade das máquinas de colheita em função do seu sentido. Conforme for o sistema de colheita de madeira utilizado, as máquinas de extração,

desgalhamento, sortimento e cavaqueamento devem ser aquelas que operam da melhor forma com estaleiros paralelos ou perpendiculares à estrada. As máquinas afetadas por esta variável são: os tratores agrícolas e os *skidders*, na operação de extração; os *harvesters*, tratores de esteira, motosserras e carregadores florestais, nas operações de desgalhamento; os *harvesters*, tratores de esteira, motosserras e carregadores florestais, nas operações de sortimento; e, os cavaqueadores, na operação de cavaqueamento.

A altura, a largura e o comprimento dos estaleiros influenciam diretamente as operações que neles se desenvolvem e que são: a extração, o desgalhamento, o sortimento e o cavaqueamento. Pilhas altas ou baixas, estreitas ou largas, curtas ou compridas irão influenciar, de maneira diferente, cada máquina que estará operando, conforme forem suas características principais. As principais máquinas afetadas por esta variável são: os *forwarders*, os tratores agrícolas e os *skidders*, na operação de extração; os *harvesters*, tratores de esteira, motosserras e carregadores florestais, nas operações de desgalhamento; os *harvesters*, tratores de esteira, motosserras e carregadores florestais, nas operações de sortimento; e, os cavaqueadores, na operação de cavaqueamento.

A variável sortimento influencia a produtividade das máquinas de colheita de madeira que derrubam, desgalham e seccionam as árvores. O aumento do número de sortimentos tende a diminuir a produtividade das máquinas, devido ao aumento de tempo necessário para se medir e optar pela melhor condição de traçamento da árvore. Sistemas informatizados de mensuração e sortimento podem diminuir o impacto desta variável sobre a produtividade das máquinas. Assim sendo, as principais máquinas afetadas por esta variável são: os *harvesters*, tratores de esteira e motosserras utilizados nas operações de corte e que, depois, irão efetuar o desgalhamento e o sortimento; os *harvesters*, tratores de esteira, motosserras e carregadores florestais, nas operações de desgalhamento e que, depois, irão efetuar o sortimento; os *harvesters*, tratores de esteira, motosserras e carregadores florestais, nas operações de sortimento. Também a produtividade dos *forwarders* e tratores agrícolas com carretas (auto-carregáveis), utilizados para a extração das toras e toretes no interior do povoamento, são afetados pelo sortimento, em razão da necessidade de ordenamento das toras no estaleiro e de possíveis viagens da máquina, sem a ocupação total da sua área útil de carga, conforme as dimensões dos sortimentos.

Caso seja feito um sortimento único, o comprimento das toras influencia a produtividade das máquinas de colheita que efetuam o traçamento dos fustes, e, dos *forwarders* e tratores agrícolas com carretas (auto-carregáveis), utilizados para a extração dessa madeira, quando traçado no interior do povoamento. A menor dimensão das toras exige uma maior quantidade de seções na árvores, forçando, desta maneira, a uma diminuição da produtividade do meio utilizado, além de aumentar o tempo de carga dos *forwarders*. As principais máquinas afetadas por esta variável são: os *harvesters*, tratores de esteira e motosserras utilizados nas operações de corte e que, depois, irão efetuar o desgalhamento e o sortimento; os *harvesters*, tratores de esteira, motosserras e carregadores florestais, nas operações de desgalhamento e que, depois, irão efetuar o sortimento; os *harvesters*, tratores de esteira, motosserras e carregadores florestais, nas operações de sortimento.

A variável descascamento refere-se a uma operação complementar, que pode ser efetuada pelos *harvesters* e tratores com esteiras, que possuem implementos de operação do tipo cabeçotes de *harvester*, com opção de descascamento. Esta opção somente é possível para árvores do gênero *Eucalyptus* spp. e que possuem um tipo de casca compatível com o conjunto de descascamento do cabeçote. Desta maneira, quando há a necessidade de se descascar as toras, há uma diminuição da produtividade da máquina e, conforme o tipo de casca, esta operação pode se tornar ainda menos produtiva.

O diâmetro da ponta fina é que irá definir a variável altura comercial, assim sendo, ambas influenciam a produtividade das máquinas de corte, desgalhamento e sortimento. Quanto maior o diâmetro da ponta fina, menor será a altura comercial e o comprimento da copa que será desgalhada, e, desta forma, as máquinas: *harvesters*, tratores com esteiras e motosserras para o corte; *harvesters*, tratores com esteiras, carregadores florestais, e motosserras para o desgalhamento, e, *harvesters*, tratores com esteiras, carregadores florestais e motosserras para o sortimento, sofrem influência direta destas variáveis. O desempenho médio dos operadores é de extrema influência na produtividade das máquinas de colheita de madeira, afetando todas as máquinas com intensidades diferentes, conforme for o nível de desenvolvimento tecnológico de cada uma.

Os turnos de trabalho podem afetar a produtividade das máquinas de colheita de madeira, devido a possível diminuição de visibilidade em turnos noturnos, tanto do povoamento como de pontos de manutenção da máquina, ou ainda, pelo desequilíbrio no biorritmo dos operadores que ficam alternando

horários de trabalho constantemente. Com exceção da motosserra, que trabalha apenas durante o dia por questões de luminosidade, todas as demais máquinas são afetadas pelo turno de trabalho.

O tipo de intervenção influencia diretamente a produtividade das máquinas que operam no interior do povoamento. Fatores como: número de árvores a serem retiradas no desbaste seletivo, número de árvores e da linha em que será feito o desbaste sistemático, cuidados com as árvores remanescentes nos desbastes, interferem diretamente na produtividade de *harvesters*, motosserras, *fellers*, tratores de esteira e triciclos, nas operações de corte, *forwarders*, *skidders* e tratores agrícolas para a extração, e *harvesters* para o desgalhamento e eventual sortimento.

A qualidade da madeira (árvores, fustes, ou toras) da operação de corte é de fundamental importância na produtividade das máquinas, nas operações de corte e extração. Assim, na operação de corte, devido ao fato das máquinas levarem mais tempo para preparar melhor as pilhas de toras ou feixes de árvores para a operação subsequente; e, na extração, quando as pilhas ou feixes ou árvores isoladas (no caso do corte com motosserra) estarão mal dispostos no terreno, exigindo manobras indesejáveis e perda de tempo por parte destas máquinas. Desta maneira, são influenciados por esta variável: *harvesters*, motosserras, tratores de esteiras, *fellers* e triciclos, na operação de corte; *forwarders*, *skidders* e tratores agrícolas, na operação de extração; e *harvesters*, motosserras e tratores com esteiras, para o desgalhamento e eventual sortimento.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitiram a formulação das seguintes conclusões:

- Foram identificadas 35 principais variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita de Pinus e 37 principais variáveis de influência na produtividade das máquinas de colheita em Eucaliptos, relacionadas ao povoamento ao terreno e ao planejamento das operações nas unidades homogêneas de colheita de madeira. A relação detalhada encontra-se na tabela 2.
- Foram identificados basicamente 10 tipos de máquinas-base utilizadas nas operações de colheita de madeira no Brasil. A relação detalhada encontra-se na tabela 1.
- Para as operações de corte, extração, desgalhamento, sortimento e cavaqueamento, os 10 tipos básicos de máquinas podem realizar 17 operações distintas.
- A interação entre as variáveis de influência na produtividade e as máquinas base refletem a complexidade da atividade de planejamento e dimensionamento das atividades de colheita de madeira, devido a influência direta ocasionada pelas variáveis do terreno, povoamento e forma de operação nas unidades homogêneas de colheita.
- Devem ser realizados estudos de campo a fim de se definir para cada conjunto de variável e máquina base a curva de relação entre as classes de variável e a produtividade do conjunto máquina-base mais implemento de operação. Estes estudos irão permitir além do conhecimento das correlações, uma priorização das variáveis que mais influenciam em cada situação de colheita. Este estudo justificasse também pela possibilidade de seleção de variáveis mais representativas e de fácil medição para a composição de tabelas de produção e preços, e elaboração de tarifas de colheita de madeira para pagamento de terceiros prestadores de serviço.

REFERÊNCIAS

KANTOLA, M.; HARSTELA, P. **Manual de tecnologia apropriadas as operações florestais em países em desenvolvimento** - Parte 2. Helsinki: Direção Nacional de Educação Vocacional do Governo da Finlândia, 1994, 202p. (Programa de Treinamento Florestal Publicação Nº 9).

MALINOVSKI, R. A.; MALINOVSKI, J. R. **Evolução dos sistemas de colheita de madeira para pinus na região Sul do Brasil**. Curitiba: FUPEF, 1998.108p.

WADOUSKI, L. H. O planejamento operacional na exploração de florestas. In: SIMPÓSIO SOBRE EXPLORAÇÃO, TRANSPORTE, ERGONOMIA E SEGURANÇA EM REFLORESTAMENTOS, 1987, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1987. p.28 - 39.