

Impactos da colheita de madeira na estrutura da
vegetação nativa do sub-bosque de uma reserva legalImpacts of logging on the structure of the native
understory vegetation in an area of legal reserveJoão Carlos Teixeira Mendes¹ e Fernando Seixas²**Resumo**

O objetivo desse estudo foi avaliar os efeitos da colheita de madeira de lenha (DAP < 30 cm) e de tora (DAP ≥ 30 cm) na estrutura da vegetação do sub-bosque em uma reserva legal composta por plantio de *Eucalyptus saligna* Smith. abandonado há 40 anos. Foram testados três tratamentos: CCV - colheita convencional com extração mecanizada de lenha e de tora; CIR1 - colheita de impacto reduzido com extração mecanizada de lenha e de tora; e CIR2 - colheita de impacto reduzido com extração animal de lenha e com extração mecanizada de tora. As variáveis analisadas na estrutura da vegetação foram: a) três classes de danos em árvores: intactas, danificadas e mortas; e b) área basal remanescente (m².ha⁻¹). Os tratamentos com colheita de impacto reduzido resultaram nas menores taxas de mortalidade de árvores, CIR1 com 32% e CIR2 com 38%, sendo que o CIR1 se diferenciou estatisticamente do CCV que resultou em 49% de mortalidade. Na colheita de lenha, o CIR2, utilizando tração animal na extração de madeira, causou redução de 10% da área basal inicial do povoamento do sub-bosque, diferenciando-se estatisticamente do CIR1 e do CCV, que utilizaram extração mecanizada de madeira e resultaram na redução de 26% e 30% de área basal, respectivamente. Após a extração de toras ou no fim da colheita de madeira, o CIR1 apresentou a menor taxa de redução de área basal com 26%, diferenciando-se estatisticamente do CCV que causou a redução de 43%, enquanto que o CIR2 causou a redução de 30%. Concluiu-se que a utilização de sistemas de colheita de impacto reduzido possibilitou a minimização dos impactos da colheita de madeira na estrutura da vegetação do sub-bosque, sendo uma alternativa viável para a extração de *Eucalyptus* em talhões abandonados como parte do manejo para revertê-los em reserva legal.

Palavras-chave: Colheita de impacto reduzido; Sustentabilidade; Manejo florestal.

Abstract

The objective of this study was to assess the impacts of logging, firewood (DBH < 30 cm) and logs (DBH ≥ 30 cm), on the structure of the native understory vegetation in an area of legal reserve planted with *Eucalyptus saligna* Smith., abandoned for 40 years. The three analyzed treatments were: CCV – conventional harvesting with mechanized extraction for firewood and for logs; CIR1 – reduced impact harvesting with mechanized extraction for firewood and for logs; and CIR2 – reduced impact harvesting for firewood associated with animal extraction and with mechanized extraction for logs. The variables for studies on effects of vegetation structure were: a) three classes of tree damages: intact, damaged and dead; and b) remaining basal area (m².ha⁻¹). The reduced impact harvesting treatments resulted in the lowest tree mortality rates, CIR1 of 32% and CIR2 of 38%. CIR1 differed statistically from CCV that presented 49% of mortality. In the harvesting for firewood, the CIR2 that used animal traction in the logging caused a reduction of 10% of initial basal area of the understory settlement, statistically differing from CIR1 and from CCV that used mechanical logging and resulted in a reduction of 26% and 30% of basal area, respectively. After extraction of logs or the end of *Eucalyptus* wood harvesting, the CIR1 had the lowest basal area reduction rate of 26%; statistically differing from CCV that caused 43% reduction, while the CIR2 caused 30% reduction. Therefore, it is possible to minimize the negative effects using mitigating impact techniques and, finally, the reduced impact harvesting systems are the best alternatives to logging in abandoned stands of *Eucalyptus* and they are a viable forest management to turn them into areas of legal reserve.

Keywords: Reduced impact harvesting; Sustainability; Forest management.

¹Doutor em Recursos Florestais. Universidade de São Paulo. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Estação Experimental de Itatinga. Estrada do distrito do lobo, s/no - Rodovia castelo branco, km 224 - Horto Florestal - 18690000 - Itatinga, SP, Brasil. E-mail: jctmende@usp.br.

²Professor Associado no Departamento de Ciências Florestais. USP – Universidade de São Paulo / ESALQ – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Av. Pádua Dias, 11 – 13418-900 – Piracicaba, SP, Brasil: E-mail: fseixas@usp.br.

INTRODUÇÃO

Estudos em unidades produtivas de *Eucalyptus* têm comprovado que algumas espécies desse gênero não impedem o estabelecimento da regeneração de espécies nativas e a formação de sub-bosque com expressiva biodiversidade. Onofre et al. (2010) constataram na regeneração do sub-bosque de uma floresta de *Eucalyptus saligna* Smith abandonada por 15 anos que as espécies nativas representaram 43,7% da riqueza total de espécies dos fragmentos vizinhos de Floresta Ombrófila Densa. Nessa vegetação a densidade no sub-bosque foi de 1.052,6 ind.ha⁻¹ e área basal de 6,4 m².ha⁻¹ de indivíduos arbóreos com diâmetro a altura do peito (DAP) \geq 5,0 cm. A partir dessas constatações os autores concluíram que a floresta de eucalipto pode apresentar condições favoráveis para a regeneração natural da vegetação nativa. Num talhão de *Eucalyptus saligna* sem manejo por 13 anos, Tubini (2006) encontrou similaridade de 32% entre a florística da regeneração natural de espécies nativas do sub-bosque desse talhão com a regeneração natural de um fragmento de Floresta Ombrófila Densa. Nesse caso o autor concluiu que a proximidade com o fragmento de floresta nativa que é uma fonte de propágulos é um fator favorável à disseminação das espécies nativas e a regeneração delas no sub-bosque da floresta de eucalipto. Em outro estudo numa região de Floresta Estacional Semidecidual, Gonçalves et al. (2010) identificaram 20 famílias e 57 espécies nativas com densidade de 1.323,3 ind.ha⁻¹ no sub-bosque de um talhão de *Eucalyptus maculata/citriodora*, com valor de 27,5% de índice de valor de importância (IVI) para as espécies raras, o que confirma a existência de sub-bosques com expressiva diversidade de espécies nativas em florestas plantadas de eucalipto.

Embora essas constatações científicas tenham mostrado que o abandono das antigas unidades produtivas favorece a dinâmica da vegetação natural no sub-bosque, alguns autores recomendam o manejo de árvores de eucalipto para estimular o processo de restabelecimento da vegetação natural. Onofre (2009) constatou uma tendência de aumento de área basal da vegetação nativa do sub-bosque com DAP \geq 5,0 cm à medida que se reduz a área basal de eucalipto. Saporetti et al. (2003) recomendaram para o manejo na área estudada o anelamento dos indivíduos de *Eucalyptus grandis* e a manutenção das árvores mortas em pé, visando promover a reposição de nutrientes no solo do Cerrado pela decomposição das suas matérias-orgânicas e, também, para servirem de puleiro para a avifauna e, conseqüentemente, contribuir para a dispersão de sementes de espécies nativas pelas aves. Tubini (2006) concluiu que no estágio médio e avançado de regeneração do sub-bosque, a remoção de indivíduos de *Eucalyptus saligna* acelerara o processo de regeneração e a continuidade da dinâmica florestal.

Como parte das diretrizes e recomendações para o manejo florestal sustentável da reserva legal, previstas no inciso III do Artigo 22 da Lei 12.651/2012 (BRASIL, 2012), que trata da proteção da floresta nativa, recomenda-se o manejo de espécies exóticas com adoção de medidas que favoreçam a regeneração de espécies nativas. Somente em propriedades de usinas sucroalcooleiras no Estado de São Paulo existem em torno de 12.261 ha de áreas abandonadas fora de Áreas de Preservação Permanente com aptidão para reserva legal (BRANCALION; RODRIGUES, 2010).

Como parte do processo de conversão de antigas unidades de produção de *Eucalyptus* em reserva legal, o grande desafio é aproveitar o seu potencial econômico madeireiro com o mínimo de prejuízo ambiental. De acordo com Malinovski (2008), as ocorrências de alterações ambientais pela colheita de madeira são inevitáveis, tanto pela extração rudimentar e predatória como na produção manejada e sustentada. Os resultados do trabalho de Bulfe et al. (2009) corroboram com essa afirmativa, uma vez que os autores constataram que após a colheita de madeira numa Floresta Estacional Semidecidual localizada na província de Misiones na Argentina, em média 13,6 ind.ha⁻¹ sofreram danos nas copas e/ou nos fustes, sendo que desse valor a exploração convencional causou danos em 55,5% e a exploração de impacto reduzido em 44,5% dos indivíduos. Johns et al. (1998) concluíram que para cada árvore colhida pelo método convencional, mais de 16 árvores remanescentes com DAP \geq 10 cm foram danificadas. Francez et al. (2007) constataram em 9,0 ha de área amostral numa floresta tropical em Paragominas/PA uma redução de 4469 para 4330 árvores com DAP \geq 10 cm, ou seja, uma diminuição de 3,0% de árvores após a colheita de 4,33 árv.ha⁻¹ ou 44,67 m³.ha⁻¹ de madeira utilizando-se método de impacto reduzido. Pinto et al. (2002) constataram que a colheita seletiva planejada em floresta tropical promoveu danos em 33 árv.ha⁻¹ na média, o equivalente a 10% da vegetação adulta (DAP \geq 15cm). Deste montante, houve 3% de danos no

tronco, 4% na copa, 1% no tronco e na copa e 2% de mortalidade. Apesar disso, comparando-se parâmetros estruturais da vegetação remanescente após a exploração com a vegetação da floresta não explorada, os autores concluíram que não houve danos significativos e que a colheita florestal realizada dentro dos princípios do manejo florestal sustentável pode minimizar os impactos nas árvores remanescentes. Carneiro (2002) concluiu que o planejamento adequado das operações de colheita florestal é o fator primordial para minimizar os danos na regeneração do sub-bosque e, conseqüentemente, contribuir para o processo de recuperação da vegetação nativa de forma mais intensa, mais rápida e com maior sucesso. Rodrigues et al. (2009) recomendaram a retirada da espécie exótica de florestas abandonadas adotando-se técnicas de colheita florestal de impacto reduzido.

Sabogal et al. (2000) definiram colheita de impacto reduzido como o método que aplica técnicas de planejamento de derrubada e extração, visando reduzir o impacto da colheita, principalmente à floresta remanescente e ao solo. Holmes et al. (2004) constataram o dobro de área impactada com colheita convencional quando comparada com a colheita de impacto reduzido. Rivero et al. (2008) constataram que após 4 anos da intervenção da colheita, a vegetação remanescente na área com colheita de impacto reduzido já tinha recuperado os valores iniciais de área basal e de densidade, enquanto que na área com colheita convencional o valor de área basal ainda não tinha alcançado os valores iniciais do povoamento. De acordo com FAO (2004), o sistema de colheita de impacto reduzido tem se mostrado como uma alternativa viável para o manejo florestal sustentável. Embora esse sistema de colheita já tenha sido comprovado como o melhor método para ser utilizado nas florestas tropicais (BARROS; UHL, 1995; HOLMES et al., 2004; JOHNS et al., 1998; MINETTI et al., 2000; VALLE et al., 2007), a sua viabilidade como alternativa para a extração de árvores de *Eucalyptus* em áreas abandonadas com presença de sub-bosque tem sido pouco testada.

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos dos sistemas de colheita convencional e de impacto reduzido na estrutura da vegetação de um sub-bosque, contribuindo na identificação de uma alternativa viável para aplicar no manejo florestal em reserva legal.

MATERIAL E MÉTODOS

Este experimento foi desenvolvido num talhão plantado com *Eucalyptus saligna* Smith com área total de 33,0 ha, sem manejo há mais de 40 anos, e que faz parte das áreas destinadas à reserva legal da Estação Experimental de Ciências Florestais da Universidade de São Paulo (USP), no município de Itatinga/SP (23°00'55"S e 48°39'57"W).

O relevo do local é predominantemente plano, com variação entre 2% e 10% de declividade principalmente nas extremidades do talhão. O solo foi classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico típico A moderado com textura média (LVAd) por GONÇALVES et al. (2012). Os resultados das análises físicas de amostras de solo coletadas até 30 cm de profundidade apresentaram concentrações médias de 85% de areia total e 10% de argila. Os valores médios de densidade aparente foram de: 1,53 g.cm⁻³ na profundidade de 5 a 10 cm; 1,54 g.cm⁻³ na profundidade de 15 a 20 cm; e 1,56 g.cm⁻³ na profundidade de 25 a 30 cm.

No sub-bosque do povoamento de *Eucalyptus saligna* há regeneração natural composta por árvores e arbustos de espécies nativas representativas da flora de cerrado e de floresta estacional semidecidual, indicando uma regeneração de vegetação de transição ou cerradão. No início do estudo foi realizado o inventário 100% em sistemas de faixas em 25% da área do talhão ou 8,37 ha, onde mediu-se a altura e o diâmetro de 3.392 indivíduos de *Eucalyptus* e de 4.452 indivíduos de espécies nativas com diâmetro a altura do peito (DAP) a partir de 5,0 cm. No caso das espécies nativas anotaram-se também as características do estado geral da copa e do fuste e a posição em que se encontrava, ou seja, se na vertical ou arcada. Para possibilitar a localização, a identificação e a avaliação dos danos estruturais após a colheita de madeira, todos os indivíduos arbóreos foram identificados com plaquetas de alumínio contendo a identificação da população pertencente, E para *Eucalyptus* e N para nativas, e número serial específico para cada população.

Os indivíduos plaquetados foram georreferenciados com a transformação das suas coordenadas cartesianas (x e y) em coordenadas UTM. Com as ferramentas do software ArcGis 9.2 efetuou-se a interpolação dos valores do inventário de cada indivíduo e foram gerados mapas do talhão com três classes de volume (m³) e de área basal (m².ha⁻¹). Com isso constatou-se visualmente a hetero-

geneidade espacial de volume e de área basal existente ao longo do talhão, tanto na população de *Eucalyptus* quanto na população de espécies nativas do sub-bosque. A aplicação do teste de correlação de *Pearson*, cujos resultados estão apresentados na Tabela 1, mostrou correlação inversa entre os parâmetros das duas populações, ou seja, no sítio com maior volume e área basal de *Eucalyptus* ocorre menor densidade e área basal de árvores nativas e vice-versa.

Tabela 1. Análise de correlação de Pearson (r) entre os parâmetros estruturais da população de *Eucalyptus* e da população de espécies nativas, antes do início da colheita.

Table 1. Pearson correlation analysis (r) between the structural parameters of the population of *Eucalyptus* and the population of native species, before the harvest

População de <i>Eucalyptus saligna</i>	População de espécies nativas			
	Área basal (7,09 m ² .ha ⁻¹)		Densidade (556 ind.ha ⁻¹)	
Área basal (24,38 m ² .ha ⁻¹)	r = - 0,701742	p < 0,0001	r = - 0,561618	p < 0,0001
Volume (420,74 m ³ .ha ⁻¹)	r = - 0,683348	p < 0,0001	r = - 0,546934	p < 0,0001

Os valores entre parênteses se referem às médias de área basal, de volume e de densidade

Delineamento Experimental

Com a constatação da heterogeneidade espacial de volume e de área basal nas populações e da correlação inversa entre elas, a partir da análise dos mapas das classes de volume e de área basal de *Eucalyptus*, adotou-se o delineamento experimental de blocos ao acaso (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002), cujos blocos representaram áreas com alto, médio e baixo valor de área basal e de volume de *Eucalyptus*. Os três tratamentos testados foram instalados em faixas no sentido latitudinal do talhão, sendo um de colheita convencional (CCV) e dois de colheita de impacto reduzido (CIR1 e CIR2). Para cada tratamento foram instaladas três parcelas de 30,0 x 30,0 m em cada bloco, totalizando nove parcelas e área amostral de 0,81 ha por tratamento, conforme Figura 1. Assim a área experimental total foi de 2,43 ha.

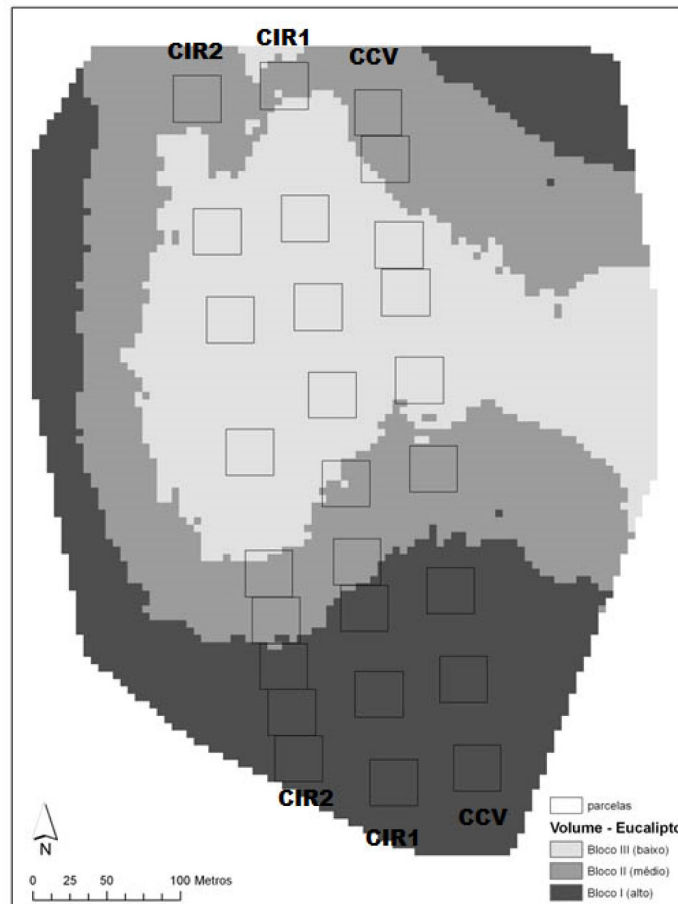


Figura 1. Distribuição espacial dos blocos e das parcelas em cada tratamento (CCV – colheita convencional; CIR1 – colheita de impacto reduzido 1; CIR2 – colheita de impacto reduzido 2).

Figure 1. Spatial distribution of blocks and plots in each treatment (CCV – conventional harvesting; CIR1 – reduced impact harvesting 1; CIR2 – CIR1 – reduced impact harvesting 2).

Tendo como base os princípios e os métodos do sistema de manejo florestal sustentável utilizado na Amazônia (AMARAL et al., 1998), os tratamentos com sistemas de colheita de impacto reduzido diferenciaram-se do tratamento com sistema convencional pela utilização de medidas recomendadas para mitigar os impactos da colheita (AKAY et al., 2006; CLATTERBUCK, 2006; JOHNS et al., 1998; PINTO et al., 2002), como a supervisão e orientação técnica da equipe operacional e o direcionamento do corte e da queda das árvores de eucalipto. Outra medida providenciada foi a abertura de ramal principal de arraste de madeira antes do início das operações de colheita. Para isso realizou-se a demarcação com estacas sinalizadas do rumo dos ramais de extração no sentido latitudinal das faixas de colheita, priorizando-se a passagem por áreas menos densas de vegetação do sub-bosque e desviando-se ao máximo das árvores nativas adultas e, a partir de então, realizou-se a abertura supervisionada com trator 4x4 e lâmina frontal. Já na colheita convencional os ramais de extração de madeira não foram planejados e abertos antecipadamente, sendo que todas as decisões das operações de corte, de derrubada e de extração das árvores ocorreram por conta da equipe operacional no decorrer das atividades. Ressalta-se que nos três tratamentos utilizou-se a mesma a equipe operacional de colheita.

Nesse estudo extraiu-se 100% das árvores de *Eucalyptus* em duas etapas. Na etapa 1 foram extraídas as árvores com DAP < 30 cm para uso na forma de lenha. Na etapa 2 foram extraídas as árvores remanescentes com DAP ≥ 30 cm na forma de toras para serraria. A colheita em duas etapas foi essencial tanto para o controle experimental quanto para o melhor aproveitamento da lenha e da tora. As atividades e os equipamentos utilizados em cada tratamento e em cada etapa de colheita estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Recursos operacionais utilizados para a colheita florestal em cada sistema de colheita de cada tratamento.
Table 2. Operational resources used for forest harvesting in each system and treatments.

Etapas de colheita	Atividades	Máquinas e Equipamento	Especificações	Tratamentos		
				CCV	CIR1	CIR2
Etapa 1 Colheita de lenha	1. Corte	Motosserra	Marca STHIL (MS381) 3,9 kW	x	x	x
	2. Extração	Conjunto Trator - carreta agrícola	Trator: Marca Ford, ano 1962, 4x2 e 60 kW; Carreta agrícola com carga média de 14,0 m ³	x	x	
		Conjunto Tração animal - carroça	Animal: cavalo sem raça definida Carroça com carga média de 1,2 m ³			x
Etapa 2 Colheita de tora	3. Corte	Motosserra	Marca STHIL (MS660) 5,2 kW	x	x	x
	4. Extração	Conjunto Trator - Pinça hidráulica (Mini-Skidder)	Trator: Marca Valmet, ano 1990, 4x4 e 128 kW Mini-Skidder com garra de 1,6 m de abertura máxima	x	x	x

CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2

Nos tratamentos CCV e CIR1, as árvores foram cortadas com motosserra. Nesses dois tratamentos a lenha foi extraída até o pátio utilizando-se um conjunto trator-carreta agrícola, com uma carga média de 10,0 m³ por viagem. No tratamento CIR2, inicialmente as árvores foram cortadas com uso de motosserra, sendo em seguida a lenha extraída com o conjunto carroça-tração animal até a margem do carreador, com uma carga média de 1,2 m³ por viagem. A lenha foi extraída com comprimento entre 1,0 m e 1,3 m, tanto na extração mecânica quanto na extração com tração animal. Já, no tratamento com colheita convencional (CCV) e nos dois tratamentos de colheita de impacto reduzido (CIR1 e CIR2), as toras foram cortadas com motosserra e extraídas no comprimento médio de 12 m, por meio de arraste para fora do talhão até o pátio utilizando-se trator agrícola (128 kW) equipado com pinça hidráulica traseira (Mini-Skidder) com garra de abertura máxima de 1,6 m, (Figura 2). Antes da colheita, o volume médio de madeira de *Eucalyptus* e os parâmetros médios estruturais da vegetação nativa do sub-bosque não demonstraram diferenças estatísticas entre as áreas experimentais dos três tratamentos, conforme observado na Tabela 3.

Tabela 3. Valores médios de parâmetros estruturais do povoamento de *Eucalyptus saligna* e da vegetação nativa do sub-bosque, antes da colheita florestal.

Table 3. Mean values of structural parameters of the understory at the *Eucalyptus saligna* and native vegetation stands, before forest harvesting.

Tratamentos	<i>Eucalyptus saligna</i>		Espécies Nativas	
	Volume m ³ .ha ⁻¹	Vivas indivíduos.h ⁻¹	Área basal m ² .ha ⁻¹	
CCV	289,61 (a)	547 (a)	6,77 (a)	
CIR1	277,57 (a)	526 (a)	7,21 (a)	
CIR2	316,37 (a)	593 (a)	7,28 (a)	

CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2; ind. - indivíduos. Médias seguidas de letras iguais na mesma coluna não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

As avaliações dos impactos provenientes da colheita de madeira na estrutura da vegetação nativa do sub-bosque foram realizadas ao término de cada etapa de colheita, ou seja, após a extração do volume total de lenha e após a extração do volume total de tora. Os módulos de colheita florestal estão ilustrados na Figura 2.



Figura 2. Modos de colheita florestal: (A) corte com motosserra; (B) extração mecanizada na etapa 1 (colheita de lenha); (C) extração com animal na etapa 1 (colheita de lenha); (D) extração mecanizada na etapa 2 (colheita de tora).

Figure 2. Forest logging systems: (A) cutting with chainsaws; (B) mechanized extraction in step 1 (wood harvesting); (C) with an animal extraction in step 1 (wood harvesting); (D) mechanized extraction in step 2 (log harvesting).

Variáveis da estrutura da vegetação

Para avaliar os impactos pós-colheita na estrutura da vegetação do sub-bosque foram consideradas como variáveis os danos estruturais nos indivíduos arbóreos e a variação de área basal da população de espécies nativas. Para avaliação dos danos estruturais adaptou-se o método utilizado por Johns et al. (1998) na floresta tropical da região amazônica, a partir do qual foram estabelecidas apenas três classes de danos nas árvores visando reduzir a subjetividade da avaliação, conforme descrição a seguir:

Classe 1 – intactas: indivíduos arbóreos que se encontravam na vertical e sem danos aparentes nas copas e nos fustes.

Classe 2 – danificadas: indivíduos arbóreos que se encontravam na vertical, porém com danos aparentes nas copas e/ou nos fustes e, também, os indivíduos arcados com ou sem danos.

Classe 3 – mortas: indivíduos arbóreos desaparecidos, tombados ou com quebra total de fuste.

Para avaliar a variação de área basal após cada etapa de colheita, exclui-se da base de dados do inventário pré-colheita todos os indivíduos arbóreos pertencentes à classe 3 de danos estruturais e, posteriormente, foram realizados novos cálculos de área basal para a população de espécies nativas.

Análise Estatística

Os valores calculados foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) e as médias comparadas pelo teste de Tukey. Os parâmetros dos modelos, tais como homogeneidade de variâncias e distribuição normal dos resíduos, foram checados pelo teste de Bartlett e Shapiro-Wilk, sendo realizada a transformação dos dados quando necessário. Também foi realizado o teste de correlação de Pearson (r) para algumas variáveis. Todas as análises foram realizadas usando o software R versão 2.15.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O volume total de madeira de *Eucalyptus saligna* extraído foi de 1312,30 m³, sendo 343,97 m³ na forma de lenha e 968,33 m³ na forma de tora, ou seja, 26% e 74% do volume total respectivamente. O volume médio de madeira extraída em cada tratamento foi de 289,61 m³.ha⁻¹ no CCV, 277,57 m³.ha⁻¹ no CIR1 e 316,37 m³.ha⁻¹ no CIR2. O teste de Tukey ($p < 0,05$) comprovou não existir diferença estatística entre os volumes médios de lenha e de tora que foram extraídos nos tratamentos.

Efeitos da colheita na estrutura da vegetação do sub-bosque

Após a colheita de lenha, a taxa de árvores mortas no tratamento CIR2 foi de 17%, enquanto que no CIR1 e no CCV as taxas foram de 23% e 25%, respectivamente. A redução da mortalidade nos tratamentos com colheita de impacto reduzido era esperada devido à adoção de medidas mitigadoras de impacto da colheita, conforme defendido por alguns autores como Bulfe et al. (2009); Akay et al. (2006); Clatterbuk (2006); Johns et al. (1998); Pinto et al. (2002), principalmente no CIR2 que utilizou extração animal para remoção da madeira. Entretanto, os resultados demonstraram que não houve diferença estatística entre as taxas de mortalidade de árvores entre os três tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4. Valores médios absolutos e relativos de indivíduos por hectare de cada classe de dano estrutural na vegetação após as etapas de colheita.

Table 4. Absolute and relative mean values of individuals per hectare of each structural damage class in vegetation after the harvesting steps.

Etapas da colheita florestal	Classes de danos estruturais	Tratamentos						
		CCV CIR1 CIR2			CCV CIR1 CIR2			
		indivíduos.ha ⁻¹			%			
Pré-colheita								
Etapa 1 Colheita de lenha	Vivas	547	526	593	100	100	100	
	Pós-colheita							
	Intactas	355	311	400	65 a	60 a	67 a	
	Danificadas	56	90	94	10 a	17 a	16 a	
	Mortas	136	125	100	25 a	23 a	17 a	
Pré-colheita								
Etapa 2 Colheita de tora	Vivas (intactas + danificadas da Etapa 1)	411	401	494	100	100	100	
	Pós-colheita							
	Intactas	221	264	226	54 ab	66 a	46 b	
	Danificadas	58	92	141	14 b	23 ab	29 a	
	Mortas	132	44	127	32 a	11 b	25 a	

CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2. Letras iguais na mesma indicam que os valores médios dos tratamentos não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Nas condições em que o trabalho foi realizado, concluiu-se que a supressão de árvores durante a abertura com trator dos ramais principais de remoção ou arraste de madeira nos tratamentos CIR1 e CIR2, elevou a taxa de mortalidade nos tratamentos com colheita de impacto reduzido, a ponto de anular os efeitos das medidas mitigadoras aplicadas nesses tratamentos, como por exemplo, a derrubada direcionada de árvores que é uma medida capaz de reduzir bastante os impactos na vegetação remanescente (Bulfe et al., 2009). Nesse contexto, é certo afirmar que o tráfego de máquina foi o principal fator de mortalidade de árvores na etapa de colheita de lenha, tanto no tratamento com colheita convencional como nos dois tratamentos com colheita de impacto reduzido.

Por outro lado, os resultados da Etapa 2 demonstraram que a abertura mecanizada dos ramais principais e secundários, associado com as demais medidas mitigadoras de impacto, favoreceu a extração de toras e, conseqüentemente, tornou-se um fator importante para reduzir a taxa de mortalidade de árvores nativas remanescentes da Etapa 1. Os melhores resultados foram obtidos no tratamento CIR1 que apresentou a maior taxa relativa de árvores intactas e a menor taxa relativa de árvores mortas, 66% e 11% respectivamente. Nesse tratamento a abertura dos ramais secundários durante a Etapa 1 favoreceu a orientação da equipe operacional na derrubada das árvores e, também, facilitou a realização de manobras da máquina para agarrar e arrastar as toras para fora do talhão. Embora no tratamento com colheita convencional também tenham sido abertos vários ramais na Etapa 1 que favoreceram a mecanização, a falta de adoção de medidas mitigadoras no corte e na derrubada de toras acarretou em 32% de mortalidade de árvores do sub-bosque, sendo a maior taxa entre os três tratamentos. A taxa de mortalidade do CIR2 igualou estatisticamente com a do CCV, 25% e 32% respectivamente. Em relação à situação inicial, após a extração de 100% dos indivíduos de *Eucalyptus*, os tratamentos com colheita de impacto reduzido apresentaram os melhores resultados em termos de redução de impactos na estrutura da vegetação nativa do sub-bosque, conforme apresentado na Tabela 5.

Tabela 5. Valores médios absolutos e relativos por hectare de indivíduos arbóreos vivos e mortos após a colheita total de *Eucalyptus*.

Table 5. Absolute and relative mean values of living and dead trees per hectare after the total *Eucalyptus* harvest.

Classes	Tratamentos					
	CCV	CIR1	CIR2	CCV	CIR1	CIR2
	indivíduos.ha ⁻¹			%		
	Situação inicial					
Vivas	547	526	593	100	100	100
	Situação Final					
Vivas (intactas+danificadas)	279	357	366	51 b	68 a	62 ab
Mortas	268	169	227	49 a	32 b	38 ab

CCV – Colheita Convencional; CIR1 – Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 – Colheita de Impacto Reduzido 2. Letras iguais na mesma indicam que os valores médios dos tratamentos não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Entre os três tratamentos, o CIR1 apresentou a menor taxa de mortalidade, 32%, diferenciando-se estatisticamente do CCV que resultou em 49% de mortalidade, a maior taxa entre os três tratamentos. Esses resultados comprovaram ser possível minimizar significativamente a mortalidade de árvores nativas do sub-bosque por meio da utilização de técnicas mitigadoras do sistema de colheita de impacto reduzido. Conseqüentemente, a mortalidade de árvores nativas do sub-bosque em cada etapa de colheita acarretou em redução de área basal nas populações dos três tratamentos, conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6. Valores de área basal da vegetação nativa e das suas variações relativas após cada etapa de colheita florestal.

Table 6. Basal area of native vegetation and its variations after each harvest.

Etapas	Tratamentos		
	CCV	CIR1	CIR2
	Δ% (m².ha⁻¹)		
Inicial (pré-colheita)	100 (6,77) A	100 (7,21) A	100 (7,28) A
Etapa 1 (após colheita de lenha)	-17% (5,60) ABa	-16% (6,07) ABa	-10% (6,60) ABb
Etapa 2 (após colheita de tora/final)	-43% (4,32) Ba	-26% (5,50) Bb	-30% (5,40) Bab

CCV = Colheita Convencional; CIR1 = Colheita de Impacto Reduzido 1; CIR2 = Colheita de Impacto Reduzido 2; Δ% = variação relativa de área basal em relação à situação pré-colheita; Letras iguais, maiúsculas na mesma coluna e letras minúsculas na mesma linha, indicam que os valores não se diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Após a colheita da Etapa 1, a redução de área basal não promoveu diferença estatística em relação a situação original dos três tratamentos. Porém, tanto na colheita convencional como nas colheitas com sistemas de impacto reduzido, constatou-se redução significativa de área basal entre a situação inicial e a situação final. Portanto, é certo afirmar que com a extração de toras aumentou-se significativamente o potencial de impacto negativo na área basal da vegetação do sub-bosque, reforçando a necessidade de adoção de medidas mitigadoras de impacto de colheita, principalmente, fazer a derrubada direcionada de árvores e a remoção planejada das toras. Comparando-se os valores das variações relativas de área basal dos três tratamentos que foram apresentados na Tabela 6, nota-se que o CIR2 apresentou a menor variação relativa de área basal após a extração de lenha, ao ponto de diferenciar-se estatisticamente dos outros dois tratamentos. A partir dessa constatação, conclui-se que o sistema de extração de madeira com tração animal tem potencial de reduzir os impactos negativos na estrutura da vegetação do sub-bosque em relação ao sistema de extração mecanizada (MCNAMARA; KAUFMAN, 1985; PEREIRA et al., 2000). Considerando a constatação da dificuldade em conseguir o módulo animal na região do estudo e, também, o seu baixo rendimento operacional na extração de madeira, concluiu-se que essa alternativa é viável apenas para a extração de lenha e em regiões onde já existe tradição no uso de animais em colheita florestal.

Após a extração total de madeira de *Eucalyptus*, o CIR1 apresentou 26% de redução de área basal, diferenciando-se estatisticamente do CCV que promoveu 43% de redução de área basal. Considerando que nesses dois tratamentos utilizou-se extração mecanizada de madeira nas duas etapas, os resultados comprovaram que as medidas mitigadoras que foram adotadas nos sistemas de colheita de impacto reduzido desse estudo têm potencial de minimizar significativamente os efeitos negativos da colheita florestal na estrutura da vegetação nativa do sub-bosque.

CONCLUSÕES

O sistema de colheita de impacto reduzido utilizando-se tração animal minimizou significativamente a variação da área basal da vegetação do sub-bosque, mostrando ser uma alternativa viável para extração de lenha, principalmente, em regiões com tradição de uso animal em colheita florestal.

Para a extração total de madeira de *Eucalyptus*, a melhor alternativa foi o sistema de colheita de impacto reduzido utilizando-se método mecanizado na extração de lenha e de tora porque reduziu significativamente a variação de área basal e os danos na estrutura da vegetação do sub-bosque.

A colheita de madeira promoveu alterações na estrutura da vegetação do sub-bosque tanto pelo sistema convencional como pelo sistema de colheita de impacto reduzido. Entretanto, concluiu-se que os sistemas de colheita de impacto reduzido são alternativas viáveis para a extração de madeira em reserva legal porque minimizaram significativamente a taxa de mortalidade e a variação de área basal da vegetação nativa do sub-bosque.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à chefia do Departamento de Ciências Florestais/ESALQ por apoiar e incentivar a realização da pesquisa e, também, a toda equipe da Estação Experimental de Ciências Florestais de Itatinga (EECFI), em especial aos servidores Rildo Moreira e Moreira, Lourival Fermiano e Antonio Leite de Moraes pelo apoio operacional fundamental para o sucesso do trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAY, A. E.; YILMAZ, M.; TONGYE, F. Impact of mechanized harvesting machines on forest ecosystem: residual stand damage. *Journal of Applied Sciences*, v. 6, p. 2414-2419, 2006.
- AMARAL, P. H. C.; VERÍSSIMO, J. A. O.; BARRETO, P. G.; VIDAL, E. J. S. *Floresta para sempre: um manual para a produção de madeira na Amazônia*. Belém: IMAZON, 1998. 137 p.
- BARROS, A. C.; UHL, C. Logging along the Amazon River and estuary: patterns, problems and potential. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v.77, p. 87-105, 1995.

BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R. Implicação do cumprimento do Código Florestal vigente na redução de áreas agrícolas: um estudo de caso da produção canavieira no Estado de São Paulo. *Biota Neotropica*, São Paulo, v. 10, n. 4, p.63-66, 2010.

BRASIL. Lei n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. 2012. Disponível em: < <http://www2.camara.gov.br/legin/fed/lei/2012/lei-12651-25-maio-2012-613076-norma-pl.html> >. Acesso em: 23 jul. 2012.

BULFE, N. M. L.; GALVÃO, F.; FIGUEIREDO FILHO, A.; DONAGH, P. M. Efeitos da exploração convencional e de impacto reduzido em uma floresta estacional semidecidual na província de Misiones, Nordeste da Argentina. *Floresta*, Curitiba, v. 39, n. 2, p. 365-379, 2009.

CARNEIRO, P. H. M. **Caracterização florística, estrutura e da dinâmica de regeneração de espécies nativas em um povoamento comercial de *Eucalyptus grandis* em Itatinga/SP.**, 2002. 131 p. Dissertação (Mestrado na área de Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CLATTERBUCK, W. K. **Logging damage to residual trees following commercial harvesting to different retention levels in a mature hardwood stand in Tennessee.** Asheville: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 2006. p. 591-594.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE. **Reduced impact logging in tropical forests: literature synthesis, analysis and prototype statistical framework.** Roma: FAO, 2004. 8 p.

FRANCEZ, L. M. B.; CARVALHO, J. O. P.; JARDIM, F. C. Mudanças ocorridas na composição florística em decorrência da exploração florestal em uma área de floresta de Terra firme na região de Paragominas, PA. *Acta Amazônica*, Manaus, v. 37, n.2, p. 219-228, 2007.

GONÇALVES, J. L. M.; ALVARES, C. A.; GONÇALVES, T. D.; MOREIRA, R. M.; MENDES, J. C. T.; GAVA, J. L. Mapeamento de solos e da produtividade de plantações de *Eucalyptus grandis*, com uso de sistema de informação geográfica. Piracicaba, SP. *Sciencia Forestalis*. Piracicaba, v. 40, n. 94, p. 187-201, 2012.

GONÇALVES, R. M. G.; LUCA, E. F.; ZANCHETTA, D.; FONTES, M. A. L. Fitossociologia do estrato arbóreo e arbustivo em sub-bosque de talhões de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus maculata/citriodora* na Estação Experimental de Tupi, Piracicaba – SP. *Revista Instituto Florestal*, São Paulo, v. 22, n. 2, p. 259-277, dez. 2010.

JOHNS, J. S.; BARRETO, P.; UHUL, H. L. C. **Os danos da exploração madeireira com e sem planejamento na Amazônia Oriental.** Belém: IMAZON, n. 16, 1998. 40 p.

HOLMES, T. P.; BLATE, G. M.; ZWEEDE, J. C.; PEREIRA JUNIOR, R.; BARRETO, P.; BOLTZ, F. **Custos e benefícios financeiros da exploração florestal de impacto reduzido em comparação com a exploração convencional na Amazônia Oriental.** 2 ed. Belém: Fundação Floresta Tropical/Instituto Floresta Tropical, 2004. 68 p.

MCNAMARA, D.; KAUFMAN, L.A. **Can horses compete with tractors?** 1985. Disponível em: < http://www.fire.ca.gov/resource_mgt/downloads/notes/Note95.pdf >. Acesso em: 03 abr. 2012.

MALINOVSKI, J. R.; CAMARGO, C. M. S.; MALINOVSKI, R.A.; MALINOVSKI, R.A. Sistemas. In: MACHADO, C.C. (Ed.). **Colheita Florestal**, 2 ed. Viçosa: UFV, 2008. p. 161-184.

MINETTI, L. J.; OLIVEIRA FILHO, R. F.; PINTO, L. A. A.; SOUZA, A. P.; FIEDLER, N. C. Análise técnica e econômica do corte florestal planejado de floresta tropical úmida de terra-firme na Amazônia Ocidental. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 24, n. 4, p. 429-435, 2000.

ONOFRE, F. F. **Restauração da Mata Atlântica em antigas unidades de produção florestal com *Eucalyptus saligna* Smith. no Parque das Neblinas, Bertioga, SP.** 2009. 120 p. Dissertação (Mestrado na área de Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

ONOFRE, F.F.; ENGEL, V.L.; CASSOLA, H. Regeneração natural de espécies de Mata Atlântica em sub-bosque de *Eucalyptus saligna* Smith. em uma antiga unidade de produção florestal no Parque da Neblinas, Bertioga, SP *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 38, n. 85, p. 39-52, 2010.

PEREIRA, R. G.; COSTA, N. L.; TOWNSEND, C. R.; ROSSI, L. M. B. **Tração animal na redução dos desmatamentos e o aproveitamento de madeira na agricultura familiar em Rondônia.** Porto Velho: EMBRAPA-CPAF, 2000. 10 p. (Circular Técnica, 50)

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos.** Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PINTO, A. C. M.; COUZA, A. L.; SOUZA, A. P.; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; VALE, A. B. Análise de danos de colheita de madeira em floresta tropical úmida sob regime de manejo florestal sustentado na Amazônia Ocidental. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 459-466, 2002.

RIVERO, L.; MAC DONAGH, P.; GARIBALDI, J.; TOMA, T.; CUBBAGE, F. Impacts of conventional and reduced logging on growth and stand composition four years after harvest in a neotropical forest in Misiones, Argentina. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 21-31, 2008.

RODRIGUES, R. R.; BRANCALION, P. H. S.; ISERNHAGEN, I. (Org.). **Pacto pela restauração da mata atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal.** São Paulo: Instituto BioAtlântica, 2009. 256 p.

SABOGAL, C.; SILVA, J. N. M.; ZWEED, J.; PEREIRA JUNIOR, R.; BARRETO, P.; GUERREIRO, C. A. **Exploração de impacto reduzido em operações florestais de terra firme na Amazônia Brasileira.** Belém: EMBRAPA-CIFOR, 2000. 8 p.

SAPORETTI, A. W.; NETO, J. A. A. M.; ALMADO, R. Fitossociologia de sub-bosque de cerrado em talhão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden no município de Bom Despacho-MG. *Revista Árvore*, Viçosa, v. 27, n. 6, p. 905-910, 2003.

TUBINI, R. **Comparação entre regeneração de espécies nativas em plantios abandonados de *Eucalyptus saligna* Smith. e em fragmento de floresta ombrófila densa em São Bernardo do Campo/SP.** 2006. 92 p. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

VALLE, D.; PHILLIPS, P.; VIDA, E.; SHULZE, M.; GROGAN, J.; SALES, M.; GARDINGEN, P. Adaptation of a spatially explicit individual tree-based growth and yield model and long-term comparison between reduced-impact and conventional logging in eastern Amazônia, Brazil. *Forest Ecology and Management*, Amsterdam, v. 243, p. 187-198, 2007.

Recebido em 08/07/2016

Aceito para publicação em 04/07/2017

