

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS DE SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
“PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS RENOVÁVEIS”

DÉBORA BESSI

**INCLUSÃO DE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DA
RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

Sorocaba, SP
2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CAMPUS DE SOROCABA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
“PLANEJAMENTO E USO DE RECURSOS RENOVÁVEIS”

DÉBORA BESSI
Gestora e Analista Ambiental

**INCLUSÃO DE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DA
RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

Defesa apresentada ao Programa de Pós-Graduação em “Planejamento e uso de recursos renováveis”, para obtenção do título de mestre em “Planejamento e uso de recursos renováveis”.

Orientação: Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello

Sorocaba, SP
2017

Bessi, Débora

Inclusão de parâmetros hidrológicos na avaliação da restauração florestal /
Débora Bessi. -- 2017.

93 f. : 30 cm.

Dissertação (mestrado)-Universidade Federal de São Carlos, campus
Sorocaba, Sorocaba

Orientador: Kelly Cristina Tonello

Banca examinadora: Luiz Carlos de Faria, José Teixeira Filho

Bibliografia

1. Hidrologia florestal. 2. Água do solo. 3. Resistência à penetração. I.
Orientador. II. Universidade Federal de São Carlos. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada pelo Programa de Geração Automática da Secretaria Geral de Informática (SIn).

DADOS FORNECIDOS PELO(A) AUTOR(A)

DÉBORA BESSI

**INCLUSÃO DE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS NA
AVALIAÇÃO DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação para obtenção do título de
mestre em Planejamento e Uso de Recursos Renováveis.
Universidade Federal de São Carlos.
Sorocaba, 14 de fevereiro de 2017.

Orientadora:

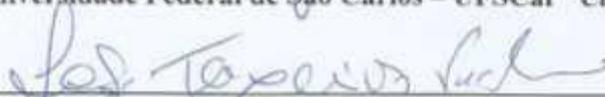


Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar *Campus* Sorocaba

Examinadores:



Prof. Dr. Luiz Carlos de Faria
Universidade Federal de São Carlos – UFSCar *Campus* Sorocaba



Dr. José Teixeira Filho
Universidade de Campinas - UNICAMP

DEDICO

À minha mãe Gilsa e minhas irmãs Marina e Alexandra que não mediram esforços para que eu chegasse até aqui, sempre com muita luta e amor.

Às minhas sobrinhas Valentina e Cora, que me enchem de amor e renovam minhas energias para que eu possa continuar minha jornada.

AGRADECIMENTOS

À Deus por guiar meu caminho e abençoar minhas escolhas.

À Universidade Federal de São Carlos - Campus Sorocaba e ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento e Uso dos Recursos Renováveis (PPGPUR) pela oportunidade de realizar meu mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) pelo apoio financeiro, o qual permitiu minha dedicação exclusiva à pesquisa.

À empresa International Paper pelo apoio financeiro, viabilizando toda a coleta de dados, e pela prontidão em auxiliar nas demais questões referentes ao estudo.

Ao grupo de pesquisa Hidrolef, em especial Lara da Costa Aranha, Alexandra Guidelli Rosa, Matheus Bruckner, e aos estagiários Gabriel, Flávia e Larissa, pela ajuda em campo e momentos de descontração durante e após os trabalhos.

Ao Gustavo Galetti pelo incentivo, paciência, ajuda em campo, companheirismo e aprendizado durante todo o período do meu mestrado.

Ao Prof. Dr. Herly Carlos Teixeira Dias, Prof. Dr. Marcel Tanaka, Prof. Dr. Luiz Carlos de Faria e Prof. Dr. José Teixeira pela participação nas bancas e pelas contribuições no trabalho.

À minha querida orientadora Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello pelo acolhimento desde o princípio, pela motivação, incentivo e participação ativa durante toda a pesquisa. Obrigada pela confiança e amizade.

RESUMO

BESSI, Débora. Inclusão de parâmetros hidrológicos na avaliação da restauração florestal. 2017. 96 páginas. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Uso dos Recursos Renováveis) – Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba, 2017.

A presença de cobertura vegetal desempenha função reguladora no balanço hídrico através da captação e distribuição da água da chuva dentro dos compartimentos do ecossistema, auxiliando na regulação do escoamento de água pelo solo, bem como no processo de suprimento de água para a recarga de corpos hídricos. É possível dizer que áreas com ausência de vegetação e em estado de degradação não apresentam os mesmos efeitos. Devido à complexidade das interações biológicas com os fatores abióticos do meio, todo o enfoque atual da recuperação ambiental é quase que exclusivo no componente biológico, não se conhecendo em que momento ao longo do desenvolvimento da vegetação, a restauração contribui para a manutenção hídrica, ou em que momento e como irá interferir no balanço hídrico de uma microbacia hidrográfica. O trabalho teve por objetivo caracterizar o comportamento de parâmetros hidrológicos em áreas florestais em diferentes estágios de restauração por condução da regeneração natural a fim de inseri-los como ferramenta para avaliação da restauração. Para isso foi selecionada uma microbacia dentro da Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) Floresta das Águas Perenes, Brotas – SP, onde foram demarcadas três parcelas de 400m² para cada tratamento, sendo dois tratamentos com idades distintas de sucessão (Tratamento 1 – 4 anos, e Tratamento 2 – 10 anos) e um fragmento sem interferência humana (Tratamento 3 – 43 anos). A pesquisa caracterizou e avaliou as condições da condução da regeneração natural, através dos indicadores de estrutura da vegetação: altura dos indivíduos arbóreos, diâmetro do tronco, e do solo: cobertura do solo por gramínea e serapilheira, resistência à compactação do solo, umidade e velocidade de infiltração; e luminosidade, além da aplicação de índices de diversidade e riqueza. Em cada parcela foram instalados 12 pluviômetros e escoamento pelo tronco em todas as árvores com CAP>15cm a fim de caracterizar a distribuição da chuva nos três tratamentos através dos indicadores hidrológicos: precipitação a céu aberto, precipitação efetiva, precipitação interna, escoamento pelo tronco e interceptação. Os resultados sobre diversidade e estrutura da vegetação indicaram tendência de incremento da mesma tanto em número quanto em riqueza entre os tratamentos. Pode-se dizer que as espécies e famílias presentes em cada tratamento estão atuando no processo de sucessão natural. As características estruturais avaliadas também demonstraram que a sucessão está ocorrendo lentamente. Com relação aos parâmetros hidrológicos, houve diferenças significativas entre as três áreas estudadas. Pode-se perceber que a interceptação e o escoamento pelo tronco possuem comportamento crescente conforme o avanço da regeneração natural, ao passo que a precipitação interna e a precipitação efetiva diminuem. Tais resultados variaram conforme as características da vegetação, como por exemplo, a quantidade e densidade de indivíduos em cada parcela e espécies presentes, além das características climáticas e das precipitações incidentes sobre a área. Foi possível observar que com o avanço da sucessão natural houve incremento nos parâmetros vegetais e melhoria dos parâmetros do solo, por outro lado, os parâmetros hidrológicos mostraram comportamento específico para cada tratamento, indicando que são capazes de responderem ao estado de manutenção e desenvolvimento da vegetação.

Palavras-chave: Hidrologia florestal. Água do solo. Resistência à penetração.

ABSTRACT

BESSI, Debora. Inclusion of hydrological parameters in the evaluation of forest restoration. 2017. 96 pages. Dissertation (Master in Planning and Use of Renewable Resources) - Federal University of São Carlos, Sorocaba, 2017.

The presence of vegetation cover plays a regulatory role in the water balance through the capture and distribution of rainwater within the compartments of the ecosystem, aiding in the regulation of water flow through the soil, as well as in the process of water supply for the recharge of water bodies. It is possible to say that areas with absence of vegetation and in state of degradation do not present the same effects. Due to the complexity of the biological interactions with the abiotic factors of the environment, the current focus of the environmental recovery is almost exclusive in the biological component, not knowing at what point during the vegetation development, the restoration contributes to the water maintenance, or In what moment and how it will interfere in the water balance of a hydrographic microbasin. The objective of this work was to characterize the behavior of hydrological parameters in forest areas at different stages of restoration by conducting the natural regeneration in order to insert them as a tool to evaluate the restoration. For this purpose, a microbasin was selected within the. (SPP), where three plots of 400 m² were demarcated for each treatment, two treatments with different ages of succession (Treatment 1 - 4 years , And Treatment 2 - 10 years) and a fragment without human interference (Treatment 3 - 43 years). The research characterized and evaluated the conditions of natural regeneration through vegetation structure indicators: tree height, trunk diameter, and soil: soil cover by grass and litter, resistance to soil compaction, humidity and Infiltration rate; And luminosity, in addition to the application of diversity and wealth indexes. In each plot, 12 rain gauges were installed and flow through the trunk in all the trees with CAP > 15cm in order to characterize the distribution of the rainfall in the three taratamentos through the hydrological indicators: open precipitation, effective precipitation, internal precipitation, flow through the trunk and interception. The results on vegetation diversity and structure indicated an increasing trend in both number and richness among treatments. It can be said that the species and families present in each treatment are acting in the process of natural succession. The structural characteristics evaluated also demonstrated that the sequence is occurring slowly. Regarding the hydrological parameters, there were significant differences between the three areas studied. It can be noticed that the interception and flow through the trunk have increasing behavior as the natural regeneration progresses, while the internal precipitation and the effective precipitation decrease. These results varied according to the characteristics of the vegetation, for example, the quantity and density of individuals in each plot and species present, besides the climatic characteristics and the precipitations incident on the area. It was possible to observe that with the advancement of the natural succession there was an increase in the vegetal parameters and improvement of the soil parameters, on the other hand, the hydrological parameters showed specific behavior for each treatment, indicating that they are able to respond to the state of maintenance and development of the vegetation.

Keywords: Forest hydrology. Soil water. Resistance to penetration.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO GERAL.....	9
CAPÍTULO 1.....	11
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	11
1.1 PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM DIFERENTES ECOSISTEMAS FLORESTAIS BRASILEIROS	11
1.1.1 Mata atlântica	13
1.1.2 Floresta amazônica.....	15
1.1.3 Cerrado	16
1.1.4 Comparação dos processos hidrológicos entre biomas	18
1.2 INDICADORES E PARÂMETROS PARA AVALIAÇÃO DE ECOSISTEMAS RESTAURADOS	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
CAPÍTULO 2.....	31
ESTRUTURA DA COMUNIDADE ARBÓREA DE AMBIENTES SOB CONDUÇÃO DE REGENERAÇÃO NATURAL EM CERRADO	31
2.1 INTRODUÇÃO	32
2.2 MATERIAL E MÉTODOS	33
2.2.1 Área de estudo	33
2.2.2 Índices de diversidade e indicadores da estrutura da vegetação	35
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
2.4 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44
CAPÍTULO 3.....	49
PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM FRAGMENTOS DE CERRADO SOB DIFERENTES ESTÁGIOS DE CONDUÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL	49
3.1 INTRODUÇÃO	50
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	51
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
3.4 CONCLUSÃO	66
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

CAPÍTULO 4.....	71
INCLUSÃO DE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL.....	71
4.1 INTRODUÇÃO	72
4.2 MATERIAL E MÉTODOS	73
4.2.1 Área de estudo	73
4.2.2 Indicadores de estrutura da vegetação e solo	75
4.2.3 Indicadores hidrológicos.....	76
4.2.4 Análise estatística	77
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	78
4.4 CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	90

APRESENTAÇÃO GERAL

Devido as interações que ocorrem entre o ciclo hidrológico e o uso e ocupação do solo de uma bacia hidrográfica, é de grande importância o conhecimento sobre a regulação e distribuição da água pelos compartimentos de um ecossistema e em diferentes tipos de formações vegetais. Tendo em vista as relações existentes, pode-se dizer que a cobertura florestal contribui com os processos de infiltração, percolação e armazenamento da água. Além disso, minimiza o escoamento superficial e reduz processos erosivos, proporcionando um bom estado de agregação do solo, com elevadas quantidades de matéria orgânica, umidade, e conteúdo microbiano ativo. Estudos constataram, por exemplo, que as raízes da vegetação, estejam elas, vivas ou mortas, canalizam e direcionam a água proveniente do escoamento pelo tronco, para o interior do solo, sendo essa uma contribuição hidrológica da vegetação ao evento de chuva (AZEVEDO, 1995; TUCCI e CLARKE, 1997; SCHWÄRZEL et al., 2012).

Sabemos que a parcela de água que infiltra pode percolar para o aquífero ou gerar um escoamento subsuperficial ao longo dos canais internos do solo até a superfície ou um curso d'água, criando condições para manter os rios perenes nos períodos de longa estiagem. Desta forma, a presença ou ausência de cobertura vegetal em uma bacia hidrográfica, bem como os diferentes usos do solo, influenciam na quantidade e na qualidade da água, e são determinantes para a conservação de mananciais, bem como o ciclo hidrológico como um todo (TUCCI e CLARKE, 1997; BRAGA, 1999).

Como uma forma de contribuição ao estudo da relação floresta-água, a presente dissertação tem como objetivo caracterizar processos hidrológicos em áreas florestais com diferentes idades sob condução de regeneração natural. Para tanto, o trabalho está dividido em 4 capítulos, onde cada um apresenta um objetivo específico, assim sendo:

Capítulo 1: **Referencial Teórico** – constitui uma revisão bibliográfica referente à distribuição da precipitação em ecossistemas florestais brasileiros, especificamente na floresta de mata atlântica, floresta amazônica e cerrado, de forma que fossem destacadas as principais diferenças entre as fisionomias dos biomas estudados e suas diferentes interações com a chuva.

Capítulo 2: **Estrutura da comunidade arbórea de ambientes sob condução de regeneração natural em cerrado.**

Os aspectos da condução da regeneração natural foram estudados em três fragmentos com idades diferentes no bioma Cerrado: 4 e 10 anos de regeneração natural e 43 anos em condições naturais. Para tanto, foram identificadas as espécies dos indivíduos de cada tratamento, bem como coletados dados de altura e diâmetro a altura do peito, luminosidade, e cobertura do solo. Foram calculados índices para o conhecimento da riqueza, diversidade, dominância e frequência de espécies.

Capítulo 3: Processos hidrológicos em fragmentos de cerrado sob diferentes estágios de condução da regeneração natural.

Este capítulo caracteriza o comportamento dos parâmetros hidrológicos nos três tratamentos estudados no capítulo anterior. Foram monitorados os processos de precipitação interna, escoamento pelo tronco, precipitação efetiva e interceptação da chuva em cada tratamento e com isso caracterizado o comportamento de tais processos perante os diferentes estágios de regeneração.

Capítulo 4: Inclusão de parâmetros hidrológicos na avaliação da restauração florestal.

Este capítulo busca caracterizar a interação entre hidrologia da vegetação e do solo ao longo do desenvolvimento da regeneração natural. Inclui informações recolhidas sobre infiltração, resistência à penetração e umidade do solo com o intuito de interpretar os dados sob a ótica da inclusão dos parâmetros hidrológicos como meio para a avaliação da restauração florestal.

CAPÍTULO 1

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM DIFERENTES ECOSISTEMAS FLORESTAIS BRASILEIROS

A presença de cobertura vegetal possui estreita relação com o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica (Figura 1). Em se tratando de florestas nativas, ela desempenha uma importante função reguladora, onde se destacam a formação de novas massas atmosféricas úmidas em função das perdas por interceptação pelo dossel, o qual promovem a captação e distribuição da água da chuva dentro dos compartimentos do sistema, auxiliando na regulação do escoamento de água pelo solo, bem como no processo de suprimento de água para a recarga de aquíferos (ARCOVA e CICCIO, 1997; PORPORATO e RODRIGEZ-ITURBE, 2002; ARCOVA et. al., 2003; ÁVILA et al, 2014).

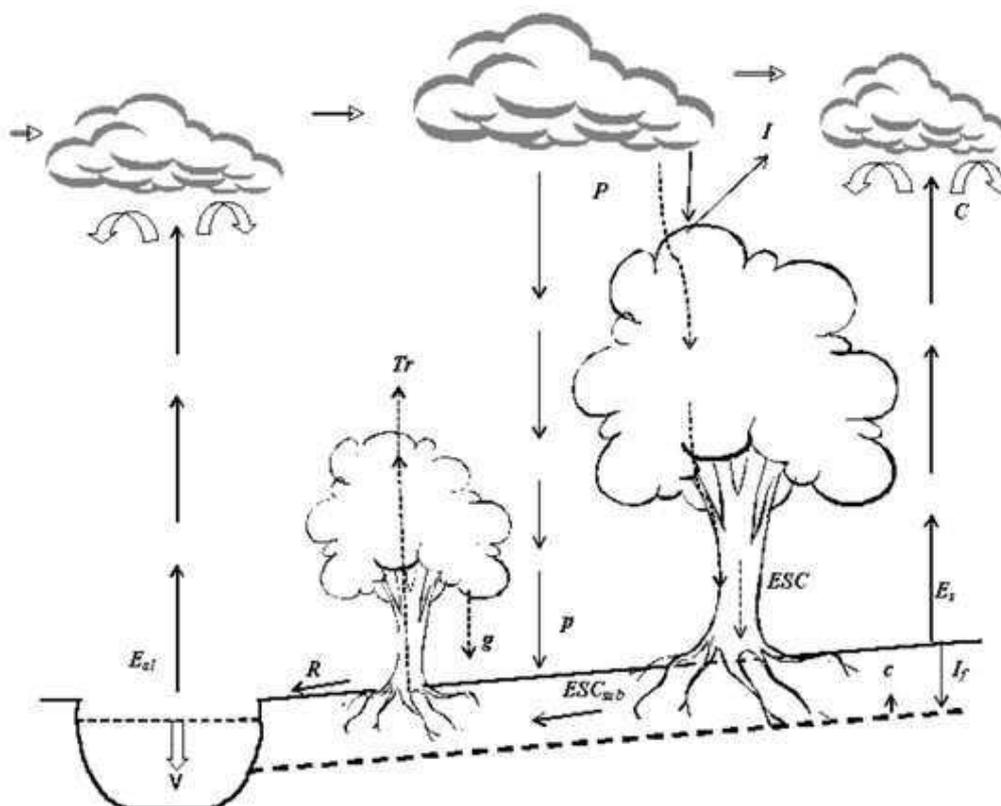


Figura 1. Ciclo hidrológico destacando as interações com a vegetação, onde P é a precipitação em aberto, p a precipitação interna, I a interceptação, C a condensação, Tr a transpiração, Es evaporação do solo, Eal

evaporação da água livre, g o gotejamento, ESC escoamento pelos troncos, R o escoamento superficial, ESCsub escoamento subterrâneo, I_f infiltração, c capilaridade, V vazão. (OLIVEIRA et al., 2008)

Dentro de uma floresta, a função da vegetação como reguladora hídrica tem início com a entrada de água no sistema: a vegetação recebe chuva pelas copas das árvores, ocorrendo o fracionamento do volume recebido: uma porção fica retida pelas próprias copas e posteriormente será evaporada, para esta porção se dá o nome de interceptação; a outra parcela de água segue até atingir o solo através de gotejamento ou precipitação interna e como fluxo que escorre pelo tronco (LIMA, 1975; ARCOVA et al., 2003; LORENZON, et. al., 2013; HONDA, 2013).

A soma da precipitação interna com o escoamento pelo tronco, fornece a precipitação efetiva, ou seja, a água que chega ao solo, que por sua vez poderá infiltrar e contribuir para a manutenção da água no solo e uso pela vegetação no processo de transpiração vegetal, e manutenção da vazão de rios. (LEOPOLDO e CONTE, 1985).

Tais frações, interceptação, precipitação interna e escoamento pelo tronco, sofrem influência dos fatores climáticos e das características da vegetação do local onde estão inseridas (LEOPOLDO e CONTE, 1985; LIMA, 1993; ARCOVA et al., 2003). As florestas nativas são as que atuam mais intensamente no balanço hídrico devido sua biodiversidade, complexidade e a própria dinâmica das comunidades dos fragmentos (ÁVILA et al, 2014). Desta forma, as diferentes formações florestais respondem de forma distinta a variação dos fatores climáticos, influenciam na repartição da chuva, tanto pelas peculiaridades da vegetação quanto pelas condições meteorológicas (CROCKFORD e RICHARDSON, 2000).

Com relação aos aspectos meteorológicos, podem ser mencionados o volume, a intensidade e duração da precipitação, velocidade do vento e intervalo entre eventos. Já com relação aos aspectos da vegetação, estes tratam da estrutura e densidade do dossel, composição e heterogeneidade das espécies e altura das plantas, dentre outros, ou seja, características relacionadas a cada tipo de formação vegetal (ÁVILA et al, 2014). Além desses aspectos, os fatores experimentais como por exemplo o método utilizado para o armazenamento da precipitação e escoamento pelo tronco e a quantidade de árvores amostradas, também podem influenciar os resultados, tornando difícil a comparação entre os locais (CASTRO et al., 1983).

Inseridos no contexto da repartição da chuva em florestas nativas, alguns estudos têm se desenvolvido com o intuito de estudar tais fenômenos (LEVIA e FROST, 2006; DIETZ et al., 2006; STAELENS et al., 2008), porém, devido a grande heterogeneidade

dos ecossistemas, torna-se complexa a comparação dos referidos aspectos (CROCKFORD e RICHARDSON, 2000; GERRITS et al., 2010).

Em florestas tropicais, Bruinjzeel (1990) afirma que cerca de 4,5 a 24% da precipitação corresponde à interceptação, sendo 75 a 96% da precipitação bruta correspondente à precipitação interna, e entre 1 e 2% ao escoamento pelo tronco. Oliveira et al. (2008), também estudou as variações de precipitação interna em florestas tropicais, e observou os mesmos valores encontrados por Bruinjzeel.

1.1.1 Mata atlântica

O bioma Mata Atlântica corresponde à 13,04% do território brasileiro, ocupando originalmente, grandes extensões de mata ao longo da costa litorânea, tendo início no estado do Rio Grande do Norte e término em Rio Grande do Sul. Ao todo, o bioma compreende cerca de 15 estados (IBF, 2015).

A estrutura e composição florística da Mata Atlântica é variada, e engloba as características climáticas da região onde ocorre Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Decidual, Floresta Estacional Semidecidual, Mangues e Restingas. Com relação a pluviosidade, as regiões de mata atlântica apresentam alto índice pluviométrico, variando de 1.800mm a 3.600mm ao ano (IBF, 2015; CARVALHAL et al., 2015).

Muitas foram as pesquisas realizadas em trechos de Mata Atlântica (Quadro 1). Nota-se que até o momento, os resultados recolhidos na literatura condizem com os valores obtidos por Bruinjzeel (1990) e Oliveira et al. (2008) para precipitação interna e interceptação em florestas tropicais. Cabe ressaltar que diferenças na metodologia para a coleta dos dados podem influenciar nos resultados, devendo-se consideram tal aspecto no momento de comparações entre estudos (CASTRO et al., 1983).

Quadro 1. Valores de interceptação (I), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et), precipitação efetiva (Pe) e precipitação em aberto (Pa) encontrados na literatura para bioma Mata Atlântica e para o mesmo bioma com diferentes idades ou estágios de regeneração natural.

Autor	Local/Idade	I (%)	Pi (%)	Et (%)	Pe (%)	Pa (mm)
Castro et al. (1983)	Viçosa, MG	12,40	-	-	87,06	-
Coelho Netto et al. (1986)	Rio de Janeiro, RJ	11,40	88,60	-	-	-
Cicco et al. (1986/88)	Cunha, SP	18,20	80,70	1,1	81,8	-
Bruinjzeel (1990)	-	4,5 a 24	75 a 96	1 e 2	-	-
Nalon e Vellardi (1992)	Cubatão, SP	8,60	91,10	0,30	91,4	2.951
Arcova et al (2003)	Cunha, SP	18,60	81,20	0,20	81,40	2.220
Moura et al. (2009)	Recife, PE	12,70	84,90	0,40	85,3	1.640
Freitas et al. (2013)	Viçosa, MG	18,10	81	0,90	81,9	1.183
Sá et al. (2016)	Rio Negrinho, SC	10,00	89,60	0,02 a 3	-	652
Oliveira Júnior e Dias (2005)	Viçosa, MG					
	Estágio inicial	18,30	80	1,70	81,7	1.039,5
Alves et al. (2007)	Viçosa, MG				7	
	Estágio inicial	20,57	79,05	0,38	9,43	
	Estágio avançado	18,37	80,86	0,77	81,63	997
Togashi et al. (2012)	Pedra Branca, RJ					
	8 anos	8	-	-	-	
	Borda	11	-	-	-	2.357
Diniz et al. (2013)	Pinheiral, RJ					
	20 anos	22,11	-	0,50	77,89	
	30 anos	20,74	-	0,50	79,26	1.553
	60 anos	23,02	-	0,50	76,98	
Lorenzon et al. (2013)	Viçosa, MG					
	Estágio inicial	14,92	84,39	0,69	85,08	
	Estágio avançado	25,07	73,04	1,89	74,93	1.510

- valores indisponíveis.

Em se tratando da distribuição da chuva em diferentes estágios sucessionais da mata Atlântica, Oliveira Júnior e Dias (2005), estudaram a repartição das chuvas em trecho mais recente de regeneração natural em fragmento secundário da Mata Atlântica, área localizada no município de Viçosa. Também, Alves et al. (2007) avaliou a precipitação efetiva dentro de um fragmento de Mata Atlântica em dois estágios de regeneração natural no mesmo município.

Com relação apenas ao atravessamento da chuva no dossel florestal, Togashi et al. (2012) avaliaram três estágios de sucessão, desta vez em região de Floresta Ombrófila Densa: floresta secundária avançada (AS), com cerca de 60 anos; secundária inicial (SI), com 8 anos de idade; e borda (BD), que ocupa uma área de transição entre a mata secundária inicial e a floresta secundária avançada (Quadro 1).

Lorenzon et al. (2013), avaliou a precipitação efetiva e a interceptação em fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual em estágio inicial e avançado de regeneração no Município de Viçosa – MG. Também, Diniz et al. (2013) quantificaram a precipitação incidente e escoamento pelo tronco para um fragmento florestal de Floresta Estacional Semidecidual. O fragmento abrangeu três diferentes estádios de sucessão de regeneração, sendo Floresta Secundária em Estádio Inicial (FSEI), com aproximadamente 20 anos de regeneração; Floresta Secundária em Estádio Médio (FSEM), com 30 anos de regeneração, aproximadamente, e Floresta Secundária em Estádio Avançado (FSEA), com 60 anos de regeneração.

1.1.2 Floresta amazônica

A floresta Amazônica é a maior floresta tropical do planeta, sendo composta por ecossistemas de floresta úmida de terra firme, matas de várzea e matas de igapó. O bioma ocupa aproximadamente 40% do território brasileiro e abrange os estados do Pará, Amazonas, Amapá, Acre, Rondônia, Rondônia e partes do Maranhão, Mato-Grosso e Tocantins. Também faz divisa com outros países da América Latina como Venezuela, Equador, Perú, Bolívia, Suriname e Guianas (IBGE, 2016).

A vegetação divide-se em três tipos, as matas de terra firme localizam-se nas regiões mais altas e não são inundadas pelos rios, nestas áreas é encontrada vegetação de grande porte. Por sua vez, as matas de várzea, sofrem inundações em alguns períodos do ano, estando localizadas em regiões de transição entre mata de terra firme e mata de igapó, por isso apresentam vegetação semelhantes a ambos os tipos, dependendo das áreas. Por fim, as matas de igapó, por estarem situadas em terrenos mais baixos, permanecem inundadas quase sempre, e apresentam vegetação arbustiva, com presença de cipós. Com relação as características climáticas do bioma Amazônico, as temperaturas variam de 22°C à 28°C. A pluviosidade é considerada elevada, tendo precipitações médias de 1.400mm até 3.500mm por ano (Instituto Oswaldo Cruz, 2016).

Para o bioma Amazônico alguns estudos foram realizados a fim de caracterizar a avaliar a distribuição da chuva sob o dossel arbóreo (Quadro 2). Especificamente na Floresta Nacional de Caxiuanã - Pará, Oliveira et al. (2008) além de quantificarem a precipitação em aberto, precipitação interna, precipitação efetiva e escoamento pelo tronco, destacaram que, apesar da região de estudo possuir distribuição regular das chuvas durante todo o ano, ainda é possível classificar períodos distintos, sendo que o período

chuvoso corresponde aos meses entre dezembro e junho, e o período pouco chuvoso, aos meses entre julho e novembro.

Quadro 2. Valores de interceptação (I), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et), precipitação efetiva (Pe) e precipitação em aberto (Pa) encontrados na literatura para bioma Amazônico.

Autores	Local	I (%)	Pi (%)	Et (%)	Pe (%)	Pa (mm)
Franken et al. (1982b)	Reserva Ducke, AM	19,8	80,2	-		2.570
Leopoldo et al. (1987)	Bacia Amazônica	21,2	78,4	0,3	78,8	1.705
Lloyd e Marques Filho (1988)	Reserva Ducke, AM	7,2	91	1,8	92,8	2.480
Lesack (1993)	Bacia Amazônica					2,870
	Reserva Jarú, RO	12,9	86,2	0,8	87	3.563
Ubarana (1996)	Reserva Vale do Rio Doce, PA	11,6	87	1,4	88,4	
Tobon Marin et al. (2000)	Médio Caquetá, Colômbia	-	82,0 a 87,0	0,9 a 1,5	-	3.400
Ferreira et al. (2005)	Estação experimental INPA, AM	25,8 a 12,9	74,2 a 87,1	-	-	3.126
Germer et al. (2006)	Rancho Grande, RO	-	89,8	7,8	97,6	1.309
Oliveira et al. (2008)	Reserva Nacional de Caxiuanã, PA	21,5%	76,8	1,7	78,5	1.153,4

- valores indisponíveis.

1.1.3 Cerrado

O Cerrado ocupa 21% do território nacional, sendo o segundo maior bioma brasileiro, perdendo apenas para a Amazônia. Abrange um conjunto de ecossistemas que ocorrem no Brasil Central: savanas, matas, campos e matas de galeria. Assim, está presente nos estados de Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Tocantins, Goiás, Bahia, Maranhão e Piauí, e também de forma fragmentada e disjunta em outros estados, como São Paulo (EITEN, 1972; EITEN, 1977; RIBEIRO et al., 1981).

Internacionalmente, o Cerrado é considerado um ambiente savânico, uma vez que o termo é usado para referir-se à vegetações com abundância de gramíneas, distribuídas de forma contínua ou descontínua, e com ocorrência de árvores ou arbustos espalhados (WALTER et al., 2008).

Sua vegetação compreende um gradiente de fisionomias, as quais variam em biomassa sendo, campo sujo, campo cerrado, cerrado e cerradão, partindo do gradiente com menor biomassa para o que possui maior biomassa. Por sua vez, o gradiente Cerradão

marca a transição entre savanas e a floresta tropical estacional semidecidual. Tais fisionomias ocorrem integradas e contínuas e, por não haver nitidez na separação entre elas, é difícil mapeá-las separadamente. Além disso, tais paisagens ocorrem em todas as regiões tropicais, sendo vizinhas de praticamente todas as formações tropicais (DURIGAN et al., 2002; WALTER et al., 2008; HONDA, 2013).

Com relação ao clima dessa região, há domínio de clima estacional, ocorrendo de outubro a março um período chuvoso, seguido por um período seco, que corresponde de abril a setembro. Suas temperaturas são geralmente amenas, entre 22°C e 27°C e apresenta precipitação média anual de 1.500mm (KLINK e MACHADO, 2005).

Do ponto de vista hidrológico, o Cerrado caracteriza-se por ser o local de formação das principais bacias hidrográficas brasileiras, sendo oito das doze regiões hidrográficas instituídas pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Ele é considerado um grande reservatório hídrico, sendo chamado, inclusive, de “berço das águas”, e desempenha papel fundamental nos processos de captação e distribuição dos recursos hídricos pelas demais regiões do país, ocorrendo nele grande parte da recarga do aquífero Guarani (LIMA e SILVA, 2008; SANTOS, 2012, HONDA, 2013).

Para os ambientes com fisionomia de Cerrado alguns estudos foram reunidos (Quadro 3). Percebe-se que poucos estudos foram realizados buscando-se conhecer mais a fundo os processos hidrológicos de tal ecossistema. Assim, para Honda (2013), “as informações sobre os processos hidrológicos no Cerrado paulista estão aquém do necessário para a devida compreensão sobre o funcionamento desse ecossistema no seu gradiente fisionômico” (p.39).

Quadro 3. Valores de Interceptação (I), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et), precipitação efetiva (Pe) e precipitação em aberto (Pa) encontrados na literatura para bioma cerrado. Sendo que CT corresponde ao cerrado típico, CD, cerrado denso, e C, cerradão.

Autores	Local	I (%)	Pi (%)	Et (%)	Pe (%)	Pa (mm)
Lima e Freire (1976)	Agudos, SP	-	73	-	-	196
Lima e Nicolielo (1983)	Agudos, SP	27	73	-	-	1.300
Leopoldo e Conte (1985)	São Manoel, SP	17	80	2,9	-	-
Lilienfein e Wilcke (2004)	Uberlândia, MG	-	89	<1	-	1.656
Honda (2013)	Assis, SP	CT	5	95	0,70	96
		CD	9	89	1,50	90,5
		C	18	80	2,40	80
Oliveira et al. (2015)	Itirapina e Santa Rita do Passa Quatro, SP	18	81%	1	82	1.929

- valores indisponíveis.

1.1.4 Comparação dos processos hidrológicos entre biomas

Os estudos levantados apresentam resultados dentro do intervalo relatado por Bruinjzeel (1990), uma vez que se tratam de ambientes de florestas tropicais. Os valores de precipitação em aberto variaram para cada estudo. Em se tratando de ambientes com vegetação de Mata Atlântica, os valores encontrados variaram de 8% a 28% em relação à interceptação, 73,04% a 96% para precipitação interna, 0,02% a 3% para o escoamento pelo tronco, e 74,93% a 91,4% para precipitação efetiva (Quadro 1). Na fração de escoamento pelo tronco os resultados se mostraram inferiores ao tido como referência, porém, os próprios trabalhos levantados apontaram as diferenças metodológicas como possível causa (COELHO NETTO et al. 1986; CICCIO et al., 1986/88; NALON e VELLARDI, 1992; CARDOSO et al., 2002; ARCOVA et al, 2003; FERREIRA et al., 2005; OLIVEIRA JÚNIOR e DIAS, 2005; MOURA et al., 2009; FREITAS et al., 2013).

Dentre os estudos realizados no bioma de Mata Atlântica alguns autores (OLIVEIRA JÚNIOR e DIAS, 2005; ALVES et al., 2007; TOGASHI et al., 2012; DINIZ et al., 2013, LORENZON et al., 2013) avaliaram as referidas frações em ambientes com diferentes idades de regeneração da vegetação. Observou-se que em ambientes em estágio inicial de regeneração natural, os valores encontrados para interceptação não ultrapassaram 21% da precipitação total em aberto, enquanto nas áreas em estágios avançados de regeneração natural, esta fração chegou até 28%, ou seja, a interceptação da precipitação foi superior nas áreas de floresta com regeneração avançada. Variação que se deve ao adensamento das folhagens conforme o incremento da vegetação nos diferentes estágios (TOGASHI et al., 2012; DINIZ et al., 2013).

Outro aspecto a ser destacado frente ao avanço nas idades de regeneração natural é a precipitação efetiva, que em estágios iniciais não passou de 85,08% da precipitação total, ao passo que em estágio avançado obteve valor máximo de 81,63% (ALVES et al., 2007; LORENZON et al., 2013).

Os trabalhos realizados pelos autores Nalon e Vellardi (1992) e Arcova et al. (2003) (Quadro 1) também observaram a influência que os períodos chuvoso e pouco chuvoso refletem nas quantidades de interceptação, precipitação interna e escoamento pelo tronco em áreas de Mata Atlântica situadas na Serra do Mar. Nestes locais, no período chuvoso, que corresponde aos meses entre outubro e março, os valores de escoamento pelo tronco e precipitação interna foram mais elevados se comparados com os valores do resto do ano. Sendo que os valores de interceptação também tiveram

diferenças significantes, apresentando maiores valores no período pouco chuvoso. Tais diferenças podem ser relacionadas com o tipo e intensidade das chuvas de cada período. Entre abril e setembro, período pouco chuvoso, as chuvas tendem a ser contínuas e pouco intensas, ao contrário da época mais úmida do ano (NALON e VELLARDI, 1992; ARCOVA et al., 2003).

Quando se avaliou a chuva e sua repartição na Amazônia, a interceptação da chuva obteve valores entre 7,2% e 25,8%, e a precipitação efetiva entre 78,5% e 97,6% (Quadro 2). Neste bioma percebe-se a grande variação que se teve no escoamento pelo tronco, fato que se deve principalmente as características e tipo da vegetação em determinadas regiões, no caso em locais onde há grande ocorrência de palmeiras (UBARANA, 1996; TOBON MARIN et al., 2000; FERREIRA et al., 2005; GERMER et al., 2006; OLIVEIRA et al., 2008).

Nos trabalhos cujos valores de precipitação interna ficaram acima de 86%, tal elevação se deve às grandes quantidades de palmeiras existentes na formação vegetal local. Da mesma forma, nota-se o elevado valor de escoamento pelo tronco encontrado por Germer et al. (2006). Esse tipo de planta, por apresentar folhas em formato mais alongado e abertas, possibilita maiores espaços no dossel florestal permitindo que a chuva precipitada penetre com maior facilidade no interior da floresta. Estudo realizado por Corrêa et al. (2016) com a palmeira Macaúba também mostrou que devido ao formato afunilado e convergente de sua folhagem, a água captada por sua copa escoou com mais facilidade ao tronco, aumentando desta forma a quantidade convertida em escoamento pelo tronco (TOGASHI et al., 2012; LORENZON et al., 2015).

Averiguou-se que os valores encontrados por Tobon Marin et al. (2000) para precipitação interna são muito elevados devido a capacidade de interceptação da floresta tida como alvo do estudo. Desta forma, embora as semelhanças das condições climáticas para as florestas estudadas, os valores variaram devido às diferenças e as características da chuva e da estrutura da floresta (TOBON MARIN et al., 2000). Com relação ao escoamento pelo tronco, as diferenças de fluxo se devem à presença de palmeiras em algumas regiões estudadas, assim como ocorrido com Oliveira et al. (2008).

Se comparada a interceptação de ambientes amazônicos com os de mata atlântica, podemos notar que os valores neste último são inferiores, é possível apontar como motivo a densidade da vegetação característica dos biomas, sendo que o amazônico apresenta maior densidade. Outra diferença foi os valores de escoamento pelo tronco, onde os de regiões amazônicas foram mais elevados, também devido, principalmente, as

características da floresta. Contudo, não se pode desprezar as diferenças climáticas e de precipitação entre os locais.

Nos trabalhos que avaliaram tais repartições no bioma cerrado, a interceptação apresentou valores que variam de 5% a 27% da precipitação total em aberto, enquanto a precipitação interna variou de 73% a 95% (Quadro 3), sendo que em todas as frações houve diferenças entre as fisionomias de cerrado típico, cerrado denso e cerradão, com aumento dos valores no sentido do mais ralo para o mais denso em vegetação (LIMA, 1975; LIMA e NICOLIELO, 1983; LEOPOLDO e CONTE, 1985; HONDA, 2013).

No estudo realizado por Honda (2013), a proporção de água que alcançou o solo foi variável e aumentou de forma gradual conforme o aumento da vegetação nos diferentes gradientes de Cerrado (Quadro 3). Isso sugere que tal aspecto poderia ser observado em outros tipos de formações vegetais em diferentes processos de regeneração. Os resultados obtidos foram compatíveis com os baixos resultados de precipitações internas advindos de regiões temperadas até altos valores correspondentes de regiões tropicais, refletindo desta forma, a grande variação de biomassa nos gradientes estudados (HONDA, 2013).

Desta forma, as fisionomias mais ralas do Cerrado com árvores de menores estaturas e com distribuição esparsa, representam menores obstáculos à passagem da água e menor capacidade de armazenamento da água pelas copas e troncos. Logo, maior quantidade de água chega ao solo durante as precipitações. Ao passo que, com o adensamento da vegetação, porte e biomassa dos indivíduos, o armazenamento de água pelas copas aumenta, aumentando também os obstáculos e a dificuldade de a água da chuva chegar ao solo, o que refletirá nos valores obtidos em interceptação, precipitação interna e escoamento pelo tronco.

Em comparação com a mata atlântica e a floresta amazônica, o cerrado apresenta, no geral, valores inferiores de interceptação e superiores de precipitação efetiva e escoamento pelo tronco. Por ter variedades fisionômicas, a interação da vegetação com o ciclo hidrológico é ainda mais peculiar, sendo importante o aprofundamento do conhecimento das relações amplamente já estudadas em outros biomas, como a mata atlântica.

1.2 INDICADORES E PARÂMETROS PARA AVALIAÇÃO DE ECOSISTEMAS RESTAURADOS

Tendo em vista a crescente necessidade de se buscar a conservação e/ou recuperação dos atributos naturais de indeterminados ecossistemas, a restauração florestal busca reconstruir a floresta restabelecendo a biodiversidade, a estrutura e as complexas relações ecológicas da comunidade e do meio físico (RODRIGUES e GANDOLFI, 2004).

A *Society for Ecological Restoration International* (2004), define a restauração ecológica como a ciência, prática e arte de assistir e manejar a recuperação da integridade ecológica dos ecossistemas, incluindo um nível mínimo de biodiversidade e de variabilidade na estrutura e funcionamento dos processos ecológicos, considerando-se seus valores ecológicos, econômicos e sociais. Sendo assim, o principal aspecto considerado nos processos de restauração ecológica está relacionado à estabilidade da estrutura, referente à integridade biológica; da função e da sustentabilidade dos ecossistemas naturais em longo prazo, reestabelecendo as características do ambiente com base no ecossistema original, no entanto, não se prendendo somente à composição de espécies (ENGEL e PARROTTA, 2003; SER, 2004; MORAES et al., 2010).

A fim de alcançar a conservação e restauração ecológica, os projetos de restauração possuem uma importante questão a ser levantada: a escolha e estabelecimento de critérios e indicadores para a avaliação de seu sucesso (MANDETTA, 2007).

Os indicadores ecológicos permitem avaliar os atributos de áreas ou processos, possibilitando monitorar tendências e mudanças ambientais, ou ainda diagnosticar causas de um problema ambiental (DAJOZ, 1978; DALE e BEYLER, 2001). Desta forma, os indicadores ecológicos são importantes ferramentas para a avaliação das condições ambientais, representando uma análise científica, através da categorização descritiva ou numérica de dados, possibilitando o conhecimento das condições de determinados ecossistemas (OTT, 1978; VAN STRAALEN, 1998; MANOLIADIS, 2002; PACTO MATA ATLÂNTICA, 2013).

Inicialmente, a escolha de parâmetros que funcionem como indicadores ecológicos está sujeita a prévia seleção de uma área de referência, a qual servirá de modelo para a área restaurada, no sentido de possibilitar a comparação entre uma área mais bem conservada, onde não houve distúrbios, e outra impactada (GROFFMAN et al. 2001). Tendo em vista as particularidades que cada projeto de restauração ecológica pode

ter, é inviável a definição de um grupo de indicadores universais, que sejam capazes de serem aplicados à variados ecossistemas ou formações florestais (RODRIGUES & GANDOLFI, 2001; BRANCALION et al., 2012).

No geral, os indicadores ecológicos devem conter três funções básicas: a) permitir o conhecimento da situação ecológica do local a ser restaurado, observando sua evolução no tempo e espaço; b) possibilitar comparações e criar grupos; c) subsidiar tomada de decisões e dar base a formulações de estratégias (CLAUDE e PIZARRO, 1996; BESSA JUNIOR e MULLER, 2000). Além destas funções, os indicadores devem apresentar uma relação com os objetivos do projeto de restauração e os problemas abordados, ou seja, devem buscar responder aos objetivos, também é importante que sejam facilmente definidos, práticos, realistas e de alta qualidade e confiabilidade (MANOLIADIS, 2002; MELLO et al., 2007).

Já para a seleção de indicadores há muitos critérios norteadores, sendo possível destacar que para ecossistemas terrestres são recomendados que os mesmos sejam: sensíveis à impactos e apresentarem respostas previsíveis; de fácil mensuração; capazes de prevenir impactos e preverem mudanças no sistema que possam ser evitadas; e sejam integrados com o sistema a ponto que reconheçam mudanças ao longo da paisagem (ANDREASEN et al. 2001; DALE e BEYLER 2001; SOUZA, 2013).

Dentro do vasto universo de indicadores ecológicos, os mesmos estão divididos em indicadores qualitativos e quantitativos. Os indicadores qualitativos são obtidos com base na observação e julgamento do observador de forma não mensurável. Geralmente apresentam aplicação subjetiva. Como exemplo para essa classe de indicadores seria a ocorrência de processos erosivos, que poderiam ser definidas em escala de intensidade alta, média ou baixa, a partir da observação do examinador (BRANCALION et al., 2012).

A classe de indicadores quantitativos é definida pela sua capacidade de mensurar certos parâmetros do local em restauração ecológica, como por exemplo a altura média dos indivíduos arbóreas, a mortalidade, a riqueza e diversidade de espécies, dentre outros. A ausência de indicadores quantitativos na avaliação da restauração impossibilita testes e comparações estatísticas de diferentes áreas, reduzindo diretamente a parcialidade e confiabilidade da avaliação (BRANCALION et al., 2012).

Quanto aos atributos do ecossistema avaliado, os indicadores podem abordar as características de composição (espécies e grupos funcionais que integram a comunidade vegetal); estrutura (organização espacial da comunidade); função (restabelecimento dos processos ecológicos que permitem a auto-perpetuação da comunidade vegetal) e serviços ecossistêmicos (benefícios para as populações humanas que são gerados pelo

restabelecimento dos processos ecológico) (ANDREASEN et al., 2001; BRANCALION et al., 2012).

Destaca-se entre os indicadores de estrutura: a altura média do dossel, a presença de indivíduos regenerantes, o número de estratos, a cobertura do solo pela copa das árvores, a estrutura do sub-bosque, etc. Para os indicadores de composição, é recorrente a utilização: da riqueza e a diversidade de espécies nativa; a presença de gramíneas; grupos funcionais; grupo sucessional; grupo de plantio; à síndrome de polinização e à síndrome de dispersão de sementes, dentre outras. Aos indicadores de funcionamento podem ser citados: a mortalidade, a herbivoria, a predação de sementes, a polinização, a frutificação, a chuva de sementes, a sucessão secundária, a ciclagem de nutrientes, a formação de serapilheira, o restabelecimento da fauna, o regime hídrico e assim por diante. Por fim, os indicadores do atributo dos serviços ecossistêmicos são agrupados em produção, regulação, culturais e suporte, tendo como base o Millenium Ecosystem Assessment (MA, 2005) (MORAES et al., 2010; BRANCALION et al., 2012).

Diante da ampla gama de indicadores possíveis de serem avaliados em uma área em processo de restauração a mesma deve ser restringida. A setorização e escolha de atributos a serem avaliados considera a dificuldade em se trabalhar com uma grande variedade de indicadores disponíveis, sendo que muitos são de difícil obtenção. Assim, muitos estudos que monitoram o sucesso das ações de restauração, vêm se restringindo à avaliação da composição, estrutura e dinâmica da comunidade vegetal, por considerarem que a vegetação está intrinsicamente ligada a grande parte dos processos da restauração (JANSEN, 1997; YOUNG, 2000; LEOPOLD et al., 2001; SIQUEIRA, 2002; SOUZA e BATISTA, 2004; MANDETTA, 2007).

Contudo, apesar da possibilidade, e muitas vezes, necessidade em se avaliar uma comunidade de forma setorizada, não se pode esquecer que cada um dos atributos composição, estrutura, função e serviços ecossistêmicos possuem estreita interdependência entre si. Onde a questão unicamente estrutural não representa por si só os objetivos da restauração, tendo em vista as complexas funções ecológicas e a sustentabilidade de um ecossistema (PARKER, 1997; KOLKA, 2000; SIQUEIRA, 2002). Sendo impossível a seleção de indicadores que monitorem todos os atributos, os indicadores devem ser utilizados de forma que forneçam informações uteis e integradoras (TIERNEY et al., 2009; FONSECA, 2011).

Desta forma, tendo em vista que a avaliação do ecossistema, perante as ações de restauração, é fundamental para o seu sucesso global, os indicadores necessitam de

embasamento em critérios que reflitam a viabilidade e a estabilidade do sistema em longo prazo (MUMMEY et al., 2002; ENGLE e PARROTTA, 2003; MORAES et al., 2010).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R. F.; DIAS, H. C. T.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; GARCIA, F. M. N. Avaliação da precipitação efetiva em um fragmento de Mata Atlântica em diferentes estágios de regeneração no município de Viçosa, MG. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté. vol. 2, no. 1, 2007.

ANDREASEN, J. K. et al. Considerations for the development of a terrestrial index of ecological integrity. **Ecological Indicators**, v. 1, p. 21-35, 2001.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em microbacia experimental em Cunha – São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.2, p.257-262, 2003

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha – SP. **Revista Instituto Florestal de São Paulo**, v.9, n.2, p.153-170, 1997

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; PINTO, L. C.; SILVA, A. M. Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por mata atlântica na Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 583-595, jul.-set, 2014.

BESSA JÚNIOR, O. MULLER, A. C. P. Indicadores ambientais georreferenciados para a Área de Proteção Ambiental de Guaraqueçaba. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, n. 99, p. 105-119, jul./dez. 2000.

BRANCALION, P.H.S., VIANI, R.A.G., RODRIGUES, R.R.R. & GANDOLFI, S. Avaliação e monitoramento de áreas em processo de restauração. In: S.V. Martins (ed.). **Restauração ecológica de ecossistemas degradados**. Editora UFV, Viçosa, p. 262-293. 2012.

BRUINJEEL, L. A. The hydrological cycle in moist tropical forest. In: BRUINJEEL, L. A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review**. Amsterdam: IAHS, p. 5-38. 1990.

CARDOSO, C. A. et. al. Precipitação interna de um fragmento de mata atlântica no município de Viçosa-MG. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 1., 2002, Cuiabá. **Anais....** Cuiabá: SBCS, 1 CD ROM. 2002.

CARVALHAL, F.; RODRIGUES, S. S.; BERCEZ, F. A. S. **Mata Atlântica**. Disponível em:< http://www.ib.usp.br/ecosteiros/textos_educ/mata/index.htm>. Acesso em 19 de abril de 2016.

CASTRO, P. S; VALENTE, O. F.; COELHO, D. T.; RAMALHO, R. S. Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 7, n. 1, p. 76-89, Jun. 1983.

CICCIO, V. et al. Interceptação das chuvas por floresta natural secundária de Mata Atlântica São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, v. 20/22, p. 25-30, 1986/88.

CLAUDE, M.; PIZARRO, R. Indicadores de sustentabilidad y contabilidad ambiental para el caso chileno. In: SUNKEL, Osvaldo (Ed.). **Sustentabilidad ambiental del crecimiento económico chileno**. Santiago: Universidad de Chile, 1996.

COELHO NETTO, A. L.; SANCHE, M.; PEIXOTO, M. N. O. Precipitação e interceptação florestal em ambiente tropical montanhoso, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 4, n. 2, p. 55-71, 1986.

CORRÊA, J. B. L.; DIAS, H. C. T.; SATO, A. Y.; TONELLO, K. C.; FERRAZ, A. C.; FERREIRA, F. M. The influence of the number of leaves in the macaúba palm *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart. on the correlation between stemflow and gross precipitation. **Revista Árvore**, Viçosa, v.40, n.3, p.387-393, 2016.

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrological Processes**, v. 14, n. 1617, p. 2903–2920, Nov./Dec. 2000.

DAJOZ, R. **Ecologia Geral**. Rio de Janeiro, Editora Vozes, 472p. 1978.

DALE, V. H. BEYLER, S. C. Challenges in the development na use of ecological indicators. **Ecological Indicators**, v. 1, n. 1, p. 3-10. 2001.

DÍAZ, F. M. et al. Alteration of the hydrologic cycle due to forest clearing and its consequences for rainforest succession. **Forest Ecology and Management**, v. 244, n. 1-3, p. 32-40, June 2007.

DIETZ, J. et al. Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi, Indonesia. **Forest Ecology and Management**, v. 237, n. 1-3, p. 170-178, Dec. 2006.

DINIZ, A. R.; PEREIRA, M. G.; BALIEIRO, F. C.; MACHADO, D. L.; MENEZES, C. E. G. Precipitação e aporte de nutrientes em diferentes estádios sucessionais de floresta atlântica, Pinheiral – RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 389-399, jul.-set., 2013.

DURIGAN, G.; NISHIKAWA, D. L. L.; ROCHA, E.; SILVEIRA, E. R.; PUTILANO, F. M.; REGALADO, R. B.; CARVALHAES, M. A.; PARANAGUÁ, P. A.; RANIERI, V. E. L. Caracterização de dois estrados da vegetação em uma área de cerrado no município de Brotas, São Paulo, Brasil. **Acta bot. bras.** 16(3): 251-262, 2002.

EITEN, G. **Delimitação do conceito de Cerrado**. Arquivos do Jardim Botânico, Rio de Janeiro 21: 125-134. 1977.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review**. 38(2):201-341. 1972.

ENGEL, V.L. & PARROTA, J.A. Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais. In KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E. de; MORAES, L. F. D. de & GANDARA, F. B. (Orgs) **Restauração ecológica de ecossistemas naturais**. Botucatu: FEPAF, p.03-22. 2003.

FERREIRA, S. J. F. et. al. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n. 1, p. 55-62, Nov. 2005.

FONSECA, V. H. C. **Seleção de indicadores ecológicos para a avaliação de planos de restauração de áreas degradadas**. 2011. 86 p. Dissertação (mestrado em Diversidade biológica e conservação). UFSCar, Sorocaba, 86 p. 2011.

FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; RIBEIRO, M.N.G. Interceptações das precipitações em floresta Amazônica de terra firme. **Acta Amazonica**, Manaus, v.12, Suplemento, p.15-22. 1982b.

FREITAS, J. P. O.; DIAS, H. C. T.; BARROSO, T. H. A.; POYARES, L. C. Q. Distribuição da água da chuva em Mata Atlântica. **Ambiente e água**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 100-108, 2013.

GERMER, S.; ELSENBEER, H.; MORAES, J. M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil). **Hydrology and Earth System Sciences**, v.10, n.3, p.383-393, 2006.

GERRITS, A. M. J. et al. Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest. **Hydrological Processes**, v. 24, n. 21, p. 3011-3025, Oct. 2010.

GROFFMAN, P.M.; McDOWELL, W.H.; MYERS, J.C. & MERRIAM, J.L. Soil microbial biomass and activity in tropical riparian forests. **Soil Biology & Biochemistry**, 33: 1339-1348. 2001.

HONDA, E. A. **Repartição da água da chuva sob o dossel e umidade do solo no gradiente fisionômico da vegetação do Cerrado**. 2013. 189 p. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Biomias do Brasil**. Disponível em: < <http://7a12.ibge.gov.br/vamos-conhecer-o-brasil/nosso-territorio/biomias.html>>. Acesso em 23 de mai. De 2016.

INSTITUTO OSWALDO CRUZ. **Bioma Amazônico**. Disponível em:< <http://www.invivo.fiocruz.br/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm>>. Acesso em abril de 2016.

INTITUTO BRASILEIRO DE FLORESTAS, **Bioma Mata Atlântica**. Disponível em:< <http://www.ibflorestas.org.br/bioma-mata-atlantica.html>>. Acesso em abril de 2016.

JANSEN, A. Territorial on vertebrate community structure as an indicator of success of a tropical rain forest restoration project. **Restoration Ecology**, v.5, n.2, p. 115-24, 1997.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, vol. 1, n. 1, jul. 2005.

KOLKA, R. K.; NELSON, E. A.; TRETTIN, C. C. Conceptual assesment framework for forest wetland restoration: the Pen Branch experience. **Ecological Engineering**, v. 15, p. 17-21, 2000.

LEOPOLD, A.C.; ANDRUS, R.; FINKELDEY, A.; KNOWLES, D. Attempting restoration of wet tropical forest in Costa Rica. **Forest Ecology and Management**, v.142, p. 243-49, 2001.

LEOPOLDO, P. R.; CONTE, M. L. Repartição da água de chuva em cobertura vegetal com características de cerradão. In: SIMPSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 6., 1985, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 1985. v. 3. p. 212-220.

LEOPOLDO, P.R.; FRANKEN, W.; SALATI, E.; RIBEIRO, M.N.G. Towardsd A water balance in the central Amazonian region. **Experientia.**, v.43, n.3, p.222-233. 1987.

LESACK, L. F. W. Water Balance and Hydrologic Characteristics of a Rain Forest Catchment in the Central Amazon Basin. **Waterr Resources Researchv**, vol. 29, no. 3, páginas 59-773, março 1993.

LEVIA, D. F.; FROST, E. E. Variability of throughfall volume and solute inputs in wooded ecosystems. **Progress in Physical Geography**, v. 30, n. 5, p. 605–632, Oct. 2006.

LILIENFEIN, J.; WILCKE, W. Water and element input into native, agri- and silvicultural ecosystems of the Brazilian savana. **Biogeochemistry** 67, páginas 183–212, 2004.

LIMA, J.E.F.W.; SILVA, E.M. da. Análise da situação dos recursos hídricos do Cerrado com base na importância econômica e socioambiental de suas águas. In: IX Simpósio Nacional do Cerrado. 2008. Brasília –DF. **Anais**, CD ROM. 2008.

LIMA, W. P. Hidrologia de plantações de eucaliptos. In: LIMA, W.P. **Impacto ambiental do eucalipto**. São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 51-137. 1993.

LIMA, W. P.; NICOLIELO, N. **Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado**. IPEF, n. 24, p. 43-46, 1983.

LIMA, W.P. **Estudos de alguns aspectos quantitativos e qualitativos do balanço em plantações de eucaliptos e pinus**. 1975. 111f. Tese de Doutorado em Ciência Florestal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1975.

LIMA, W.P.; FREIRE, O. Evapotranspiração em plantações de eucalipto e pinheiro, e em vegetação herbácea natural. **Revista do IPEF**, V. 12, pag. 103-117. 1976.

LLOYD, C.R.; MARQUES FILHO, A.O. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. **Agric. For. Meteorol.**, v.42, p.63-73. 1988.

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C. T.; LEITE, H. G. Precipitação efetiva da chuva em um fragmento florestal com diferentes estágios de regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.4, p.619-627. 2013.

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C. T.; TONELLO, K. C. Escoamento da água da chuva pelo tronco das árvores em uma floresta estacional semidecidual. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.3, p.423-430, 2015.

MANDETTA, E. C. N. **Avaliação florística e de aspectos da estrutura da comunidade de um reflorestamento com dois anos e meio de implantação no município de Mogi Guaçu – SP**. 2007. 103 p. Dissertação (mestrado em Ciências biológicas), Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”- ESALQ, Piracicaba, 2007.

MANOLIADIS, O.G. Development of ecological indicators - a methodological framework using compromise programming. **Ecological Indicators**, 2: 169-176. 2002.

MELLO, A. C. G.; MIRANDA, D. L. C.; DURIGAN, G. Cobertura de copas como indicador de desenvolvimento estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no médio vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.2, p.321-328, 2007.

MORAES, L. F. D.; CAMPELO, E. F. C.; FRANCO, A. A. Restauração florestal: do diagnóstico de degradação ao uso de indicadores ecológicos para monitoramento das ações. **Oecologia Australis**, 14(2) : 437-451, 2010.

MOURA, A. E. S. S.; CORREA, M. M.; SILVA, E. R.; FERREIRA, R. L. C.; FIGUEIREDO, A. de C.; POSSAS, J. M. C. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na bacia do Prata, Recife, PE. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.3, p.461-469, 2009.

MUMMEY, D.L.; STAHL, P.D. & BUYER, J.S. Microbial biomarkers as an indicator of ecosystem recovery following surface mine reclamation. **Applied Soil Ecology**, 21: 251-259. n.1-4, p.3-23. 2002.

NALON, M. A.; VELLARDI, A. C. V. Interceptação na floresta secundária das encostas da Serra do Mar, região de Cubatão, SP. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., São Paulo. **Anais...** São Paulo: 1992. Revista do Instituto Florestal, v. 4, p. 894-899. (Edição Especial). 1992.

OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A.; SCOTT, R. L.; ROSOLEM, R.; DA ROCHA, H, R. The water balance components of undisturbed tropical woodlands in the Brazilian cerrado. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 19, 2899–2910, 2015.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da mata atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 29, n. 1, p. 9-15, Jan./Fev; 2005.

OLIVEIRA, L. L.; COSTA, R. F. da; COSTA, A. C. L. da; SOUSA, F. A. S. de; BRAGA, A. P. Modelagem da interceptação na floresta nacional de caxiuanã, no leste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 318-326, Set. 2008.

OTT, W. **Environmental indices: theory and practice**. Michigan: Ann Arbor, 1978.

PACTO PELA RESTAURAÇÃO DA MATA ATLÂNTICA. **Protocolo de monitoramento para programas e projetos de restauração florestal 2013**. Disponível em: http://www.pactomataatlantica.org.br/pdf/_protocolo_projetos_restauracao.pdf>. Acesso em: 02/08/2016.

PARKER, V.T. The scale of successional models and restoration objectives. **Restoration Ecology**, 5: 301-306. 1997.

PORPORATO, A.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. Ecohydrology - a challenging multidisciplinary research perspective. **Hydrological Sciences Journal**, v.47, n.5, p.811-821. 2002.

RIBEIRO, J.F., S.M. Sano e J.A. da Silva. Chave preliminar de identificação dos tipos fisionômicos da vegetação do Cerrado. pp. 124-133 In: **Anais do XXXII Congresso Nacional de Botânica**. Sociedade Botânica do Brasil, Teresina, Brasil. 1981.

RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, Tendências e Ações para a Recuperação de Florestas Ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. de F. (orgs.). **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. 3º edição. São Paulo: EDUSP, p. 235-247. 2004.

RODRIGUES, R.R. & GANDOLFI, S. Conceitos, tendências e ações para a recuperação de florestas ciliares. In. RODRIGUES, R. R. & LEITAO-FILHO, H. de F. (Eds). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. São Paulo: EDUSP, p.235-247. 2001.

SÁ, J. H. M.; CHAFFE, P. L. B.; QUILLET, M. J. J. The influence of the interception process on the precipitation quality in a catchment covered by subtropical Atlantic Forest. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 742-751, out./dez. 2016.

SANTOS, J. R. **Recursos Hídricos no Cerrado Brasileiro: importância e contribuições da educação ambiental na preservação e no manejo sustentável**. Universidade de Brasília – UnB. Brasília, 2012.

SER (Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group). 2004. **The SER International Primer on Ecological Restoration**. Disponível em: <<http://www.ser.org>>. Acesso em: 02/08/2016.

SIQUEIRA, L.P. **Monitoramento de áreas restauradas no interior do estado de São Paulo, Brasil**. 2002. 116f. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

SOUZA, F.M. & BATISTA, J.L.F. Restoration of seasonal semideciduous forest in Brazil: influence of age and restoration design on forest structure. **Forest Ecology and Management**, v.191, p.185-200, 2004.

SOUZA, R. T. M. **Gestão ambiental de agroecossistemas familiares mediante o método MESMIS de avaliação de sustentabilidade**. 2013. Dissertação de Mestrado, UFSC, Florianópolis-SC, 216 p. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/107284/319999.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 02/08/2016.

STAELENS, J. et al. Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. **Hydrological Processes**, v. 22, n. 1, p. 33-45, Jan. 2008.

TIERNEY, G. L. et al. Monitoring and evaluating the ecological integrity of forest ecosystems. **Front Ecol. Environ.**, v. 7, (Review) 2009.

TOBON MARIN, C.; BOUTEN, W.; SEVINK, J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. **Journal of Hydrology**, v.237, n.1, p.40-57, 2000.

TOGASHI, H. F.; MONTEZUMA, R. C. M.; LEITE, A. F. Precipitação incidente e fluxo de atravessamento das chuvas em três estágios sucessionais de Floresta Atlântica no maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro. **Revista Árvore**, Viçosa. v.36, n.5, p.907-917, 2012.

UBARANA, V.N. Observation and modelling of rainfall interception at two experimental sites in Amazônia. **Amazonian deforestation and climate**. p.151-162. 1996.

VAN STRAALLEN, N.M. Evaluation of bioindicator systems derived from soil arthropod communities. **Applied Soil Ecology**, 9: 429-437. 1998.

WALTER, B. N. M.; CARVALHO, A. M.; RIBEIRO, J. F. O conceito de savanna e de seu componente **Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). *Cerrado: ecologia e flora*. Planaltina: EMBRAPA-CPAC. P.21-45. 2008.

YOUNG, T.P. Restoration ecology and conservation biology. **Biological Conservation**, v.92, p.73-83, 2000.

CAPÍTULO 2

ESTRUTURA DA COMUNIDADE ARBÓREA DE AMBIENTES SOB CONDUÇÃO DE REGENERAÇÃO NATURAL EM CERRADO

Resumo: Para buscar a conservação e/ou recuperação dos atributos naturais, a restauração florestal está relacionada com a difícil tarefa de reconstruir a floresta buscando também o restabelecimento da biodiversidade, da estrutura e de complexas relações ecológicas da comunidade e do meio físico. Dentre as técnicas utilizadas, a condução da regeneração natural proporciona a ocupação do local com espécies de ocorrência regional e já adaptadas geneticamente. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar três áreas com diferentes idades em condução da regeneração natural, visando a compreensão da diversidade e estrutura da comunidade florestal. As áreas de estudo foram denominadas de tratamento, sendo Tratamento 1 - estágio inicial de regeneração, Tratamento 2 - estágio intermediário e Tratamento 3 - estágio avançado. Ambos localizados na Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) Floresta das Águas Perenes, em Brotas – SP. Foram mensurados a altura e diâmetro do tronco de todos os indivíduos com DAP > 5cm, índice relativo de luminosidade (IRL) e cobertura do solo por gramínea e serapilheira, assim como todos os indivíduos foram identificados segundo espécie, família e classe sucessional. Com isso, obteve-se os índices de diversidade de Shannon, equitabilidade de Pielou, índice de dominância de Simpson, e similaridade de Jarccard, a fim de comparar os tratamentos. A diversidade das espécies foi crescente entre os tratamentos no sentido de 1 à 3, a equitabilidade e a dominância foram maiores no Tratamento 1, diminuindo em 2 e 3. A similaridade foi de 8% entre os Tratamento 1 e 2; 0% entre os Tratamentos 1 e 3, e 3% entre os Tratamento 2. Com relação a estrutura da vegetação, o Tratamento 1 foi o que apresentou menor altura e DAP, apresentando IRL igual a 100% e presença de gramíneas. Nos demais tratamentos as medidas de altura e DAP mostraram aumento gradual, bem como diminuição do IRL e surgimento de serapilheira. Os resultados sobre diversidade e estrutura da vegetação indicaram tendência de incremento da mesma tanto em número quanto em riqueza entre os tratamentos. Pode-se dizer que as espécies e famílias presentes em cada tratamento estão atuando no processo de sucessão natural. As características estruturais avaliadas também demonstraram que a sucessão está ocorrendo lentamente.

Palavras-chaves: condução da regeneração natural, estrutura da vegetação, fitossociologia.

Abstract: In order to seek conservation and / or recovery of natural waste, a forest restoration is related to a difficult task of rebuilding a forest also for the restoration of the biodiversity, structure and complex ecological relations of the community and the physical environment. Among the techniques used, a natural regeneration conduction provides an occupation of the place with species of regional occurrence and already adapted genetically. The present work had as objective to characterize three areas with different conditions of natural regeneration, aiming at an understanding of the diversity and structure of the forest community. The study areas were called treatment, being Treatment 1 - initial stage of regeneration, Treatment 2 - intermediate stage and Treatment 3 - advanced stage, both located in the Natural Heritage Reserve Floresta das Águas Perenes, in Brotas - SP. The height and trunk diameter of all individuals with DBH > 5 cm, index of luminosity (IL) and soil cover by grammar and litter were measured, as well as all individuals were identified according to species, family and successional class.

Thus, we obtained Shannon diversity indexes, Pielou equity, Simpson dominance index, and Jarccard similarity, a list of treatments prices. The diversity of species for growth between treatments 1 to 3, the equitability and dominance not greater in treatment 1, decreasing by 2 and 3. A similarity of 8% between treatments 1 and 2; 0% between Treatments 1 and 3, and 3% between Treatments2. Regarding the structure of the vegetation, Treatment 1 was the one that presented lower height and DAP, presenting IRL equal to 100% and presence of grasses. In the other treatments as measures of height and DAP showed gradual increase, as well as decrease of IRL and surgery of litter. The results on vegetation diversity and structure indicated tendency to increase the average in relation to the richness among the treatments. It can be said that species and families are present in each treatment are acting without natural process of succession. Structural features also demonstrate that a sequece is occurring slowly.

Keywords: conduction of natural regeneration, vegetation structure, phytosociology.

2.1 INTRODUÇÃO

Decorrente de um ou de um conjunto de fatores que causam alterações de grande impacto, a degradação dos ecossistemas restringe ou impossibilita a dinâmica, o funcionamento e a sustentabilidade dos diferentes ecossistemas e compartimentos, incluindo o ciclo hidrológico. Em função das novas demandas humanas vinculadas ao modelo de desenvolvimento atual, tal situação é exacerbada, trazendo prejuízos ainda maiores à vegetação, ao solo e aos recursos hídricos, aumentando o quadro de degradação (KAGEYAMA et al., 1992; BRADSHAW, 2002).

O Cerrado brasileiro caracteriza-se como um dos biomas mais degradados, principalmente em função das atividades voltadas à pecuária e à agricultura extensiva, tendo 55% do total de sua área desmatada ou transformada pela ação humana. É considerado um hotspot por conter muitos atributos naturais e grandes conflitos ambientais, dentre eles as questões referentes aos recursos hídricos (MACHADO et. al., 2004; PELÁ e CASTILHO, 2010; SANTOS, 2012).

Tendo em vista a crescente necessidade de se buscar a conservação e/ou recuperação dos atributos naturais de indeterminados ecossistemas, a restauração florestal está relacionada com a difícil tarefa de reconstruir a floresta buscando também o restabelecimento da biodiversidade, da estrutura e de complexas relações ecológicas da comunidade e do meio físico (RODRIGUES e GANDOLFI, 2004).

Há várias técnicas utilizadas para a recuperação de ambientes florestais degradados, dentre as mais importantes destacam-se a revegetação, por meio da escolha de espécies de grupos ecológicos específicos e determinação de espaçamentos e arranjos de plantios; o enriquecimento com espécies e a condução da regeneração natural

(BARBOSA, 2006). Segundo Rodrigues et al. (2009), o método de condução da regeneração natural tem sucesso condicionado ao histórico de uso e ocupação da área, às características da degradação e do entorno. Esta última se faz importante tendo em vista a possibilidade de fonte de sementes e o fornecimento de condições ambientais adequadas para o desenvolvimento e estabelecimento da vegetação (BOTELHO et al., 2001).

O método de condução da regeneração natural exige condições como o cessar da fonte de degradação, boas condições microclimáticas e edáficas, proximidade de fontes produtoras de propágulos, presença de dispersores, e ausência de agentes antrópicos (PARROTA, 1993; TORIOLA et al., 1998; HOLL e KAPPELLE, 1999; FARIA et al., 2001; NÓBREGA et al., 2008). A vantagem do método consiste na redução dos custos, uma vez que não requer muita mão de obra e insumos se comparado a outros métodos, mas principalmente, a ocupação do local com espécies de ocorrência regional e já adaptadas geneticamente (BOTELHO et al., 2001; RODRIGUES et al., 2009).

Assim, considerando que o domínio do cerrado possui alta resiliência frente perturbações moderadas, apresentando elevada riqueza e diversidade de famílias e espécies próprias do domínio, a condução da regeneração apresenta-se, atualmente, como forma viável para a recomposição da vegetação nativa (SOARES e NUNES, 2013).

Inserido nesta perspectiva o presente capítulo buscou caracterizar três áreas com diferentes idades em condução da regeneração natural, visando a compreensão da diversidade e estrutura da comunidade vegetal, localizado em uma microbacia da Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) Floresta das Águas Perenes, em Brotas – SP.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

2.2.1 Área de estudo

A pesquisa foi realizada na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Floresta das Águas Perenes, situada no município de Brotas, interior do estado de São Paulo, pertencente à empresa International Paper do Brasil Ltda. A RPPN Floresta das Águas Perenes. Possui 809,78 ha e está inserida no Bioma Cerrado e sua fitofisionomia é caracterizada como vegetação secundária de Cerrado e Cerradão (SECRETARIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2013). O clima na região é classificado como Cwa, seguindo a classificação de Köppen, tendo verão úmido e inverno seco, e precipitação média anual entre 1.400 e 1.500 mm (MESSINA, 1998; CEPAGRI, 2016). O tipo de solo predominante é Neossolo Quartzarênico (ALMEIDA et al., 1981; EMBRAPA, 1999).

Antes ocupada por pastagens, nos últimos 42 anos foi destinada ao cultivo de eucalipto. A partir de 2006, após a colheita de alguns talhões de eucalipto, iniciou-se o processo de condução de regeneração natural de suas áreas (INTERNATIONAL PAPER, 2013).

A caracterização dos índices de diversidade e indicadores estruturais da vegetação nas áreas em condução da regeneração natural, foi realizada em locais com dois estágios diferentes de sucessão natural e em um fragmento natural sem interferência humana desde 1973, sendo: Tratamento 1 - 4 anos após corte do eucalipto (estágio inicial de regeneração), Tratamento 2 - 10 anos após corte do eucalipto (estágio intermediário) e Tratamento 3 - 43 anos sem interferência humana (estágio avançado) (Figura 1). Os tratamentos estão situados em uma mesma microbacia, para que preserve a mesma característica de solo (Figura 2).



Figura 1. Parcelas de condução da regeneração natural aos (a) 4 anos, (b) 10 anos e (c) 43 anos de idade. RPPN Águas Perenes, Brotas, SP, 2015.



Figura 2: Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Floresta das Águas Perenes, Brotas –SP, com limite da microbacia (GOOGLE EARTH, 2016).

2.2.2 Índices de diversidade e indicadores da estrutura da vegetação

Para a caracterização dos índices de diversidade e indicadores de estrutura foram estabelecidas três parcelas de 20x20 metros em cada tratamento, com espaçamento de 10 metros entre parcelas.

Em cada tratamento os indivíduos com DAP > 5cm foram identificados quanto sua espécie de acordo com a Lista de espécies da Flora do Brasil. As famílias foram nomeadas com base no Angiosperm Phylogeny Group III e grafias dos nomes e sinônimas das espécies conferidas na Lista de Espécies da Flora do Brasil (SOUZA e LORENZI, 2008; APG III, 2009; FORZZA et al., 2012). Os indivíduos que não puderam ser identificados de acordo com a metodologia acima foram nomeados em morfoespécies, o que não interferiu na aplicação dos índices e análises propostas. As espécies identificadas foram classificadas como pioneiras e não pioneiras segundo anexo da Resolução da Secretaria do Meio Ambiente 08 de 2008.

Os índices de Shannon-Wiener (Pielou, 1975) e equabilidade de Pielou (Pielou, 1969) foram utilizados para analisar a diversidade de espécies (DURIGAN et al., 2002). As diferenças entre a diversidade e a abundância de espécies foram comparadas com análise de variância (ANOVA) por meio de software estatístico.

Os índices de Shannon, equitabilidade de Pielou foram obtidos pelo programa Past 3, o qual utiliza as seguintes definições:

Índice de Shannon (entropia). Um índice de diversidade que leva em conta não só o número de táxons, mas também o número de indivíduos. Varia de 0 para comunidades com um único táxon até valores elevados para comunidades com muitos táxons, cada um com alguns indivíduos.

$$H' = - \sum_{i=1}^S \frac{ni}{N} \ln \frac{ni}{N}$$

Sendo S é o número de espécies, ni o número de indivíduos da espécie i; e N o número total de indivíduos amostrados.

Equitabilidade: Índice de diversidade de Shannon dividido pelo logaritmo do número de táxons. Esta medida representa a equitabilidade com a qual os indivíduos se distribuem entre os táxons presentes.

Dominância: Índice de Simpson. Varia de 0 (todos os táxons presentes em iguais quantidades) a 1 (um táxon domina completamente a comunidade).

$$D = \sum_{i=1}^S \frac{ni(ni-1)}{N(N-1)}$$

Onde S é o número de espécies, número de indivíduos por espécies, e N o número total de indivíduos do táxon i.

A proporção de espécies em comum entre as áreas amostradas foi comparada pelo índice de Similaridade de Jaccard (índice qualitativo baseado na presença/ausência de espécies) (Magurran, 1988), pela seguinte fórmula:

$$C_j = c / (a + b - c)$$

Onde: C_j = índice de similaridade; a = número total de espécies presentes no local A; b = número total de espécies presentes no local B; c = número de espécies comuns aos locais A e B.

Para todos os indivíduos foram registradas as medidas de DAP e altura total. Para a medição da luminosidade no interior de cada tratamento, foi utilizado o aparelho luxímetro digital MLM-1011, da marca Minipa. Foram realizadas nove medições em pontos aleatórios, sem repetições entre os meses, com o aparelho posicionado na direção norte e a um metro de altura do solo. As medições ocorreram entre 10 e 12 horas da manhã. Também foi registrada a luminosidade absoluta, com uma repetição para cada tratamento, tendo sido registrada a céu aberto, a fim de eliminar interferências. Foi obtido o Índice Relativo de Luz (IRL), o qual consiste na média aritmética da luminosidade para cada tratamento, dividido pelo valor de luminosidade a céu aberto, e multiplicado por 100. Desta forma, foi possível inferir sobre a porcentagem de luz que penetra a vegetação em cada tratamento, e assim, relacionar com a densidade de cobertura do dossel.

Para avaliação da cobertura do solo, utilizou-se um quadro reticulado de 0,50m x 0,50m subdividido em 4 quadrantes de 0,25m x 0,25m, que foi lançado nove vezes dentro de cada tratamento, de maneira aleatória e sem repetição entre os meses, de forma a se obter uma média em porcentagem da cobertura por gramínea e/ou serapilheira para cada tratamento (RODRIGUES et al., 2009). Com auxílio de uma régua foi medida a altura da serapilheira quando necessário.

Desta forma, foram realizadas as seguintes relações:

- Utilização dos índices de Shannon-Wiener, equabilidade de Pielou e Similaridade de Jaccard para comparação da riqueza e diversidade, além de parâmetros fitossociológicos como dominância e frequência.

- Classificação dos tratamentos quanto a: distribuição diamétrica, distribuição de altura, riqueza de espécies e densidade.

- Aplicação de análise de variância e teste Tukey entre tratamentos nas relações: tratamento X densidade da regeneração e tratamento X diversidade da regeneração.

Com relação a frequência da obtenção dos dados, os indicadores de estrutura altura dos indivíduos e diâmetro do tronco foram recolhidos no mês de janeiro de 2016. Já os indicadores Luminosidade e Cobertura do solo foram registrados mensalmente, sempre no mesmo dia. Ambos tiveram sua primeira coleta de dados realizada em fevereiro e término em setembro de 2016.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao todo foram identificadas 19 espécies das quais 58% foram classificadas com não pioneiras (Quadro 1). Todos os indivíduos dos Tratamentos 1 e 2 foram identificados, aqueles que não puderam ser identificados segundo espécie e família, foram classificados em morfoespécies, assim 87 morfoespécies estiveram presentes no Tratamento 3. Desta forma, os três tratamentos compreenderam 106 espécies diferentes.

No Tratamento 1, a espécie que mais ocorreu foi a *Solanum mautitianum*, da família Solanaceae. Muitas espécies desta família são consideradas pioneiras, desempenhando importante função colonizadora em locais perturbados como pastagens, bordas de florestas e estradas (ALBUQUERQUE et al., 2006; RUSCHEL et al., 2008), fato que pôde ser observado no presente estudo. Essa espécie apresenta alto valor ecológico para as áreas onde ocorre, uma vez que possui polinização entomófila, sementes ortodoxas, banco de sementes no solo, germinação estimulada pelo fogo, rápido crescimento e ampla área de dispersão (SCHERER e JARENKOW, 2006; HALEY, 2006; RUSCHEL et al., 2008). Pela rusticidade e características encontradas no Tratamento 1, a ocorrência desta espécie é condizente com o processo de regeneração natural do local, podendo contribuir para a evolução e susseção ecológica da área.

As espécies que mais ocorreram no Tratamento 2 (*Anadenanthera falcata*, *Machaerium acutifolium*, *Machaerium villosum*, *Xylopia aromática* (Lam.) Mart) pertencem às famílias Fabaceae, presente em todos os tratamentos, e Annonaceae, presente nos Tratamentos 1 e 2. A família Fabaceae apresenta grande poder adaptativo às diversidades de solo e clima, e tem como principal papel ecológico sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico no solo, favorecendo o aumento de sua qualidade e assim, facilitando o processo de sucessão e surgimento de espécies mais exigentes (CARPANEZZI, 2005; DURÃES et al., 2014), o que reforça a sua importância como facilitadora na sucessão ecológica entre os tratamentos.

Quanto a espécie *Xylópia aromática* há controvérsias com relação a sua classificação sucessional. Segundo os anexos da SMA 08/08, a mesma é classificada como uma espécie não pioneira. Contudo, para Almeida et al. (1998) a espécie é pioneira, com grande ocorrência em locais perturbados e Cerrado com grande incidência luminosa. De fato, neste estudo a espécie comportou-se como pioneira, apresentando frequência considerável no Tratamento 2.

No Tratamento 3 nota-se a presença, quase que total, de espécies não pioneiras destacando-se o gênero *Tabebuia sp.*, e as espécies *Copaifera langsdorffii* e *Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glassm.*, as quais pertencem as famílias Bignoneaceae, Fabaceae e Arecaceae, respectivamente. Em especial, a família Arecaceae possui grande importância ecológica, com uma ampla rede de interações com seus polinizadores e dispersores, além de seus frutos servirem como atrativo de fauna, sejam aves ou mamíferos (GALETTI et al., 2001; PIRES, 2006). Esta família tem grande importância na preservação e recuperação de biomas, sendo passível a dispersão de suas sementes por longas distâncias e a manutenção da fauna em períodos de escassez (BEGNINI, 2008; BRANCALION et al, 2011).

Percebe-se, pelas espécies que ocorrem em cada tratamento, que o processo de sucessão está ocorrendo de forma gradual. Pode-se dizer que há presença de famílias fundamentais para o desenvolvimento de áreas em processo de regeneração natural, bem como específicas para cada estágio, sendo que as espécies presentes estão atuando na melhoria da qualidade do solo e atração de fauna, o que conseqüentemente influenciará no surgimento de novas espécies, sombreamento do solo, saída gradual das gramíneas e aparecimento de serraílheira. Fatos que podem ser observados pelos indicadores coletados neste trabalho.

Quadro 1. Espécies identificadas nos Tratamentos 1, 2 e 3, e classificação das espécies por família e classe sussecional (Pioneira e Não Pioneira), na RPPN Floresta das Água Perenes, Brotas, São Paulo.

Tratamento 1			
Espécie	Família	Estágio sussecional	Número de indivíduos
<i>Machaerium villosum</i> Vogel	Fabaceae	Não pioneira – Secundária tardia	1
<i>Solanum mauritianum</i>	Solanaceae	Pioneira	2
Total			3
Tratamento 2			
Espécie	Família	Estágio sussecional	Número de indivíduos

<i>Anadenanthera falcata</i> (Benth.) Speg.	Fabaceae	Não pioneira	2
<i>Cedrella fissilis</i> Vellozo	Meliaceae	Não pioneira – secundária inicial/tardia	2
<i>Diospyros hispida</i> DC.	Ebenaceae	Não pioneira	3
<i>Machaerium acutifolium</i> Vogel	Fabaceae	Não pioneira	3
<i>Machaerium villosum</i> Vogel	Fabaceae	Não pioneira – Secundária tardia	2
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Vochysiaceae	Não pioneira	3
<i>Salvertia convallariaeodora</i> St. Hil.	Vochysiaceae	-	1
<i>Tabebuia dura</i>	Bignoniaceae	-	2
<i>Xylopia aromática</i> (Lam.) Mart.	Annonaceae	Não pioneira*	5
Total			23

Tratamento 3

Espécie	Família	Estágio sussecional	Número de indivíduos
<i>Cedrella fissilis</i> Vellozo	Meliaceae	Não pioneira – secundária inicial/tardia	2
<i>Copaifera langsdorffii</i> Desfontaines	Fabaceae	Não pioneira – secundária tardia/clímax	7
<i>Coussarea hydrangeaefolia</i> Benth. & Hook	Rubiaceae	-	1
<i>Diospyros hispida</i> DC.	Ebenaceae	Não pioneira	1
<i>Handroanthus cristatus</i> (A.H.Gentry) S.Grose	Bignoniaceae	-	3
<i>Ouratea</i> sp	Ochnaceae	Não pioneira	2
<i>Rudgea viburnoides</i> (Cham.) Benth.	Rubiaceae	-	1
<i>Siparuna guianensis</i> Aublet	Monimiaceae	Não pioneira - clímax	1
Sp 11	Araliaceae	-	1
<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassm.	Arecaceae	Não pioneira	5
<i>Tabebuia heptaphylla</i> (Vellozo) Toledo	Bignoniaceae	Não pioneira – secundária tardia/clímax	2
<i>Tabebuia</i> sp.	Bignoniaceae	-	22
<i>Xylopia aromática</i> (Lam.) Mart.	Annonaceae	Não pioneira*	6
Total			54

- classificação não encontrada na SMA 08/2008.

* controvérsias segundo literatura.

Os índices de diversidade de Shannon-Wiener (H'), equitabilidade de Pielou (J) e dominância de Simpson (D) foram calculados para os três tratamentos (Quadro 2). Observou-se aumento da diversidade do Tratamento 1 ao Tratamento 3, como já era

esperado, sendo que o Tratamento 3 foi o que apresentou menor distribuição equitativa entre as espécies.

O tratamento com maior dominância de uma única espécie foi o Tratamento 1 (Quadro 2). Como este índice varia de 0, onde todos os táxons estão presentes em quantidade iguais, e 1, para um táxon dominante na comunidade, nota-se tendência decrescente da dominância do Tratamento 1 para o Tratamento 3. Os valores obtidos para este índice também corroboram com a diversidade dos tratamentos, uma vez que quanto maior o valor desse índice, menor a diversidade, e vice-versa.

Quadro 2. Resultados obtidos para os índices de Dominância, Diversidade e Equitabilidade para os Tratamentos 1, 2 e 3, na RPPN Floresta das Água Perenes, Brotas, São Paulo.

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3
Shannon_H'	0.64 a	2,26 b	4,24 c
Equitabilidade_J	0.92	0,94	0,70
Dominância_D	0.56	0,12	0,027

Comparando-se os valores encontrados no presente estudo com trabalho realizado por Gomes et al. (2004) em ambiente de Cerradão no município de Brotas - SP, os autores obtiveram $H'=3,38$, valor próximo ao obtido no Tratamento 3. Constataram também que a espécie *Xylopia aromática* esteve entre as espécies que apresentou maior frequência, fato também observado no Tratamento 2 e 3.

Durigan et al. (2002), em estudo também realizado em Brotas - SP, com vegetação de cerrado, encontrou 48 espécies de árvores, com índice de diversidade de Shannon igual a 3,02 e equitabilidade de 80%. Giannotti (1998), encontrou 3,74, e Durigan et al. (1994), 3,08, ambos em áreas de cerrado no município de Itirapina. Percebe-se que o Tratamento 3 possui valor semelhante, e até mesmo superior aos citados acima em se tratando do índice de diversidade.

A Análise de variância realizada para o índice de diversidade acusou diferenças significativas entre os tratamentos. Pelo teste de Tukey foi possível averiguar que o Tratamento 3 difere significativamente dos Tratamentos 1 e 2, bem como o Tratamento 2 difere significativamente do Tratamento 1.

Na análise de similaridade realizada para o índice de Jarccard, os três tratamentos obtiveram valor muito baixo, sendo de 8% de similaridade entre os Tratamento 1 e 2; 0% entre os Tratamentos 1 e 3, e 3% entre os Tratamento 2 e 3. Estas similaridades tão reduzidas podem estar relacionadas aos estágios sussecionais de cada tratamento, ou até mesmo à fisionomia pertencente à cada um. Apesar dos tratamentos estarem muito

próximos uns aos outros, a microbacia que contém a área de estudo contempla as fisionomias de Cerrado e Cerradão.

Com relação à distribuição e características estruturais dos indivíduos arbóreos, o Tratamento 1 foi o que apresentou menor densidade de indivíduos, ao todo foram três, com densidade igual a 0,003 ind./m², a altura média correspondeu a 2 metros ($\pm 0,11$ dvp) e DAP médio a 6,4 cm ($\pm 0,88$ dvp). De acordo com tais características e o reduzido número de espécies, é possível dizer que o Tratamento 1 encontra-se em processo inicial de regeneração (Figura 3). Por sua vez, o Tratamento 2 apresentou 24 indivíduos com densidade de 0,02 ind./m², DAP médio de 9,1 cm ($\pm 2,2$ dvp). Percebeu-se concentração de muitos indivíduos em uma única classe de DAP, contudo, inicia-se a ocorrência de medidas mais elevadas. A altura média foi de 3 metros ($\pm 0,7$ dvp) (Figura 3).

Ao contrário dos Tratamentos 1 e 2 que apresentaram baixa densidade de indivíduos arbóreos, o Tratamento 3 apresentou 157 indivíduos com densidade de 0,123 ind./m². O DAP médio para esse tratamento foi 11 cm ($\pm 3,9$ dvp), sendo o menor DAP encontrado igual a 4,9 cm e o maior de 42,2 cm. A altura média foi de 8 m ($\pm 2,8$ dvp), variando de 2 a 22 metros (Figura 3).

Percebe-se a ocorrência gradual de medidas mais elevadas tanto de DAP quanto de altura para os três tratamentos. Contudo, apesar dos resultados demonstrarem que há incremento nas medidas de DAP, a análise de variância não acusou diferenças significativas para esta medida entre os tratamentos. Já com relação a altura, esta mesma análise mostrou que todos os tratamentos diferiram significativamente entre si.

Com relação a análise de variância realizada para o dado de densidade da vegetação, esta mostrou diferença significativa, sendo possível averiguar que tal diferença encontra-se no Tratamento 3 para com os demais, os tratamentos 1 e 2 não diferiram significativamente entre si.

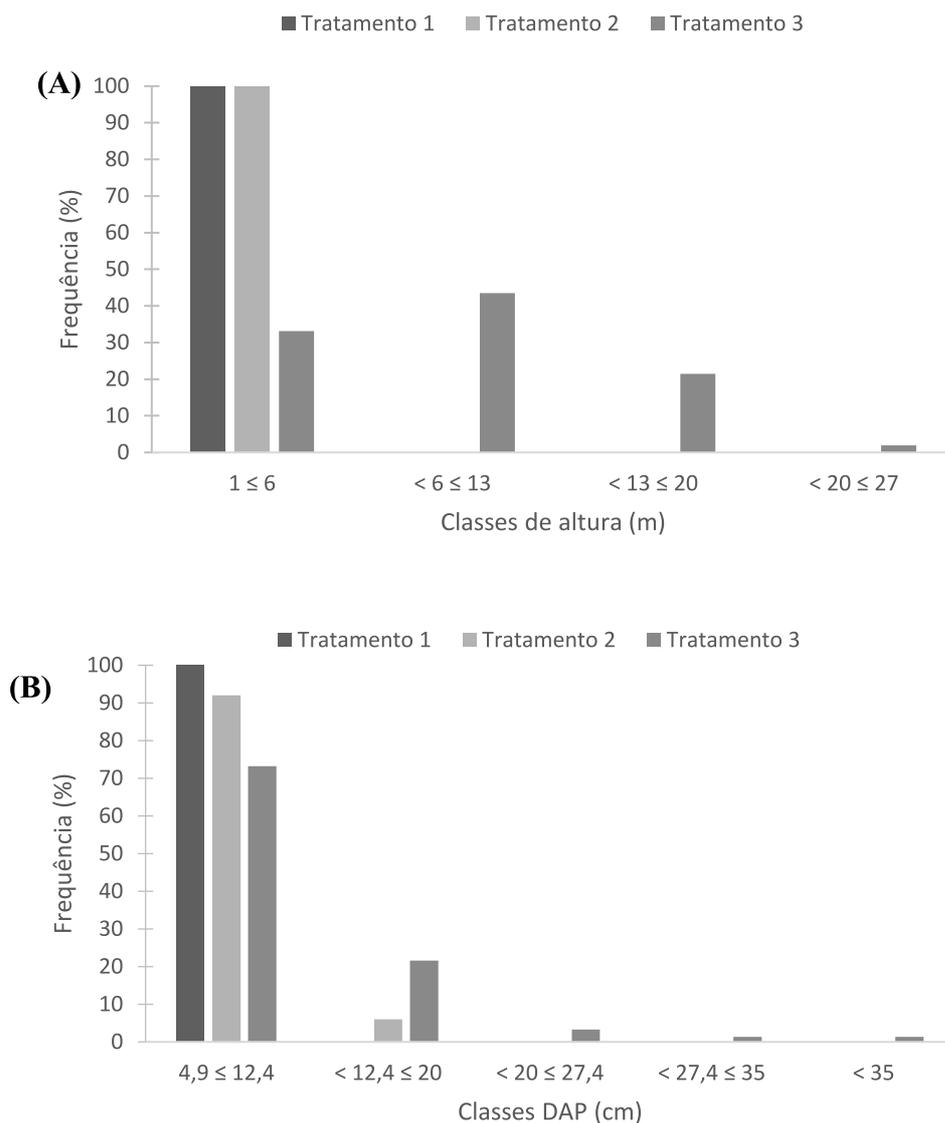


Figura 3. Frequência de indivíduos por classes de altura (m) (A) e classes de diâmetro a altura do peito (DAP) (cm) (B) para os Tratamentos 1, 2 e 3. Coletados no mês de janeiro de 2016, na RPPN Floresta das Água Perenes, Brotas, São Paulo.

Ao comparar as medidas de altura obtidas para cada tratamento com dados disponíveis na literatura, tem-se que para plantios de restauração com três anos de idade, Melo et al. (2007) no Vale do Paranapanema - S.P., obtiveram alturas entre 1,55 e 6,07 metros. Por sua vez, Melo (2004), encontrou alturas médias para restauração com três anos de idade igual a 5,26 metros e para restauração com 13 anos, 7,18 metros. Almeida e Sánchez (2005) no Vale no Paraíba - SP, registraram, para plantios de 5, 7 e 9 anos, alturas médias de 2 metros; 5,14 metros e 2,51 metros, respectivamente, enquanto Silveira (2001) e Souza (2000), avaliando áreas com reflorestamento de 11 e 9 anos, encontraram alturas médias de 7,6 metros e 10,2 metros, respectivamente.

Já em áreas em processo de regeneração natural, Rodrigues (1998) analisou capoeiras com idades de 5, 10 e 20 anos, nas quais obteve alturas médias de 3,6 metros, 3,8 metros e 5,7 metros. Melo (2004), também em área de capoeira, porém com 23 anos, obteve altura média de 7,18 metros.

Os tratamentos 1, 2 e 3 obtiveram altura média crescentes, com maior número de indivíduos com altura até três metros no Tratamento 1 e 2 e de <6 a 13 metros no Tratamento 3, ou seja, no geral, tais dados estão dentro dos averiguados na literatura. Em algumas referências percebe-se que o dado obtido no presente estudo é inferior ao comparado, no entanto, vale destacar que as áreas de estudo estão no domínio de cerrado, o qual possui vegetação de menor porte. Durigan et al. (2002), afirma que o estrato superior da fisionomia cerrado típico possui altura máxima de 7 metros e diâmetro máximo de 32 cm.

Tendo em vista que a cobertura promovida pelo dossel regula a quantidade e a distribuição temporal e espacial da luz no interior de formações florestais (JENNINGS et al., 1999), é coerente utilizar as porcentagens de luz em cada tratamento para influir sobre a cobertura pelas copas. Desta forma, o índice relativo de luminosidade (IRL) que penetrou o interior do Tratamento 1 foi de 100% para todas as medições o que demonstra a ausência de cobertura por copas. No Tratamento 2, devido a distribuição heterogênea dos indivíduos arbóresos, obteve-se um valor mínimo de 67% e máximo de 96%. Nota-se que a luminosidade no interior do tratamento começa a diminuir em reflexo da presença da vegetação arbórea e sua cobertura foliar. Já no Tratamento 3 o IRL foi muito inferior as demais, variando de 1% a 10%, sendo resultado de uma maior cobertura de copa e fechamento do dossel quando comparada ao Tratamento 1 e 2.

A incidência de luminosidade no interior dos tratamentos também pode ser associada à presença ou ausência de gramíneas, uma vez que a luminosidade incidente no solo é um importante fator no controle da mato-competição (GUILHERME, 2000; MARTINS et al., 2004; SUGAMUNA et al., 2008). Assim, houve presença de gramíneas em 100% das amostragens para os tratamentos mais jovens, onde o IRL foi elevado e a presença de indivíduos arbóreos reduzida, tendo ausência de cobertura do solo por serapilheira, e conseqüentemente, altura da serapilheira nula. No Tratamento 3 ocorreu o inverso ao observado nos anteriores, sendo nula a presença de gramíneas e 100% de cobertura do solo por serapilheira.

A altura da serapilheira variou de 2 a 3 centímetros, sendo de 2 cm nos meses de fevereiro a abril, julho e agosto. Os valores iguais a 3 cm corresponderam aos meses de

maio, junho e setembro. Leitão-Filho et al. (1993) diz que a produção de serapilheira é contínua no decorrer do ano, em ambientes tropicais, no entanto, as quantidades produzidas podem variar em épocas do ano como resposta às variações sazonais (CARREIRA et al., 2006). Outros fatores também estão relacionados à produção e quantidade de serapilheira, como por exemplo as espécies, a cobertura florestal, o estágio sucessional, idade da vegetação, tipo de floresta e precipitação pluviométrica (FIGUEIREDO FILHO et al., 2003; CALDEIRA et al., 2008). Ainda, no período chuvoso e o início da estiagem é possível perceber aumento da produção de serapilheira, segundo Nascimento et al. (2013). Neste estudo a produção de serapilheira foi de fato contínua, mas com aumento em alguns meses, no geral, os meses que iniciam o período de estiagem onde algumas espécies arbóreas perdem suas folhas.

2.4 CONCLUSÃO

Pode-se dizer que as espécies e famílias presentes em cada tratamento estão atuando no processo de sucessão natural, desde a manutenção e aumento de qualidade do solo, até a atração de fauna e possível dispersão das espécies.

De acordo com os resultados obtidos, o Tratamento 3 apresentou maior diversidade de espécies e baixa dominância entre as mesmas. O Tratamento 1 foi o que obteve menor índice de diversidade e maior dominância, corroborando com as características observadas em campo. A similaridade entre os tratamentos foi muito baixa, refletindo as diferenças de idades de cada tratamento, e conseqüentemente o estágio sucessional a qual cada um pertence. De qualquer forma, as características estruturais avaliadas também indicam que a sucessão está ocorrendo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, L. B.; VELÁZQUEZ, A.; VASCONCELLOS-NETO, J. Composição florística de Solanaceae e suas síndromes de polinização e dispersão de sementes em florestas mesófilas neotropicais. **Interciencia**, Caracas. v.31 n.11. nov. 2006.

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. EMBRAPA. Planaltina, DF. 1998.

ALMEIDA, C.F.L., OLIVEIRA, J.B. & PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do estado de São Paulo: quadrícula de Brotas 1**. Mapa de solos. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas. 1981.

ALMEIDA, R.O.P.O.; SÁNCHEZ, L.E. Revegetação de áreas de mineração: critérios de monitoramento e avaliação de desempenho. **Revista Árvore**, Viçosa. v.29, n.1, p.47-54, 2005.

APG III. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III. **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 161, n. 2, p. 105-121, 2009.

BARBOSA, L. M. (Coord.). **Manual para recuperação de áreas degradadas do estado de São Paulo: matas ciliares do interior paulista**. São Paulo: Instituto de Botânica, 128p. 2006.

BEGNINI, R. M. **O Jerivá - Syagrus romanzoffiana (Cham.) Glassman (Arecaceae) - fenologia e interações com a fauna no Parque Municipal da Lagoa do Peri, Florianópolis, SC**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina. Universidade de Santa Catarina. 2008.

BOTELHO, S. A.; FARIA, J. M. R.; FURTINI NETO, A. E.; RESENDE, A. V. **Implantação de floresta de proteção**. Lavras: UFLA/FAEPE, 81 p. 2001.

BRADSHAW, A.D. Introduction and philosophy. In: PERROW, M. P.; DAVY, A. J. **Handbook of ecological restoration**. Cambridge: Cambridge University Press, v. 1, p. 4-9. 2002.

BRANCALION, P.H.S., NOVEMBRE, A.D.L.C. and RODRIGUES, R.R. Seed development, yield and quality of two palm species growing in different tropical forest types in SE Brazil: implications for ecological restoration, **Seed Science & Technology**, vol.39, 2011.

CALDEIRA, M. V. W.; VITORINO, M. D.; SCHAAT, S. S.; MORAES, E.; BALBINOT, R. Quantificação de serapilheira e de nutrientes em uma floresta Ombrófila Densa. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 53-68, 2008.

CARPANEZZI, A. A. Fundamentos para a reabilitação de ecossistemas florestais. In: GALVÃO, A. P. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V. (Orgs.) **Restauração Florestal: Fundamentos e Estudos de Caso**. Colombo: EMBRAPA/Florestas, p. 2745. 2005.

CARREIRA, C. C.; RONDON, J. N.; ZAIDAN, L. B. P. **Produção de serrapilheira em uma área de cerrado em Mogiguaçu, SP**. São Paulo: Instituto de Botânica/ IB, (Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente Curso de Capacitação de monitores e educadores). p. 1-11. 2006.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA – CEPAGRI. Dados meteorológicos. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/index.html>>. Acesso em 23 de mai. de 2016.

DURÃES, M. C.O.; SALES, N. L. P.; NETO, S. A.; FIGUEIREDO, M. A. P. Levantamento florístico do estrato arbóreo de três fragmentos de floresta ciliar como subsídio à recomposição da vegetação do Rio Cedro, Montes Claros – MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 47-58, jan.-mar., 2014.

DURIGAN, G.; LEITÃO FILHO, H. F. & RODRIGUES, R. R. Phytosociology and structure of a frequently burnt cerrado vegetation in SE- Brazil. **Flora** **189**: 153-160. 1994.

DURIGAN, G.; NISHIKAWA, D. L. L.; ROCHA, E.; SILVEIRA, E. R.; PUTILANO, F. M.; REGALADO, R. B.; CARVALHAES, M. A.; PARANAGUÁ, P. A.; RANIERI, V. E. L. Caracterização de dois estratos da vegetação em uma área de cerrado no município de Brotas, São Paulo, Brasil. **Acta bot. bras.** 16(3): 251-262, 2002.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 412 p. 1999.

FARIA, H. H.; SÉRGIO, F. C.; GARRIDO, M. A. O. Recomposição da vegetação ciliar integrada à conservação de microbacia. **Revista do Instituto Florestal**, n.21, p.1-22, 2001.

FIGUEIREDO FILHO, A.; MORAES, G. F.; SCHAAF, L. B.; FIGUEIREDO, D. J. Avaliação estacional da deposição de serapilheira em uma floresta ombrófila mista localizada no sul do Estado do Paraná. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 1, p.11-18, 2003.

FORZZA, R.C.; LEITMAN, P.M.; COSTA, A.F.; CARVALHO Jr., A.A.; PEIXOTO, A.L.; WALTER, B.M.T.; BICUDO, C.; ZAPPI, D.; COSTA, D.P.; LLERAS, E.; MARTINELLI, G.; LIMA, H.C.; PRADO, J.; STEHMANN, J.R.; BAUMGRATZ, J.F.A.; PIRANI, J.R.; SYLVESTRE, L.; MAIA, L.C.; LOHMANN, L.G.; QUEIROZ, L.P.; SILVEIRA, M.; COELHO, M.N.; MAMEDE, M.C.; BASTOS, M.N.C.; MORIM, M.P.; BARBOSA, M.; MENEZES, M.; HOPKINS, M.; SECCO, R.; CAVALCANTI, T. B. & SOUZA, V.C. 2012. Introdução. In: **Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em <http://floradobrasil.jbrj.gov.br/2012/> (Acesso em 29/06/2016).

GALETTI, M. et al. Frugivory and Seed Dispersal by the Lowland Tapir (*Tapirus terrestris*) in Southeast Brazil. **Biotropica**, v. 33, n. 4, p. 723-726, 2001.

GIANNOTTI, E. **Composição florística e estrutura fitossociológica da vegetação de cerrado e de transição entre cerrado e mata ciliar da Estação Experimental de Itirapina (SP)**. 1988. Dissertação de Mestrado. Instituto de Biologia. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. 1988.

GOMES, B. Z.; MARTINS, F. R.; TAMASHIRO, J. Y. Estrutura do cerrado e da transição entre cerradão e floresta paludícola num fragment da International Paper do Brasil Ltda. , em Brotas, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, V.27, n.2, p.249-262, abr.-jun. 2004.

GUILHERME, F.A.G. Efeitos da cobertura de dossel na densidade e estatura de gramíneas e da regeneração natural de plantas lenhosas em mata de galeria, Brasília, DF. **Cerne**, v.6, n.1, p.60-66, 2000.

HALEY, N. **Weed control methods: Solanum mauritianum**. Rotorua: Department of Conservation, Environment BOP (Bay of Plenty Regional Council). Disponível em: http://www.boprc.govt.nz/land/media/pdf/Fact_Sheet_PP01.pdf. Acesso em: 19 de dezembro de 2016.

HOLL, K. D.; KAPPELLE, M. Tropical forest recovery and restoration. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 14, n. 10, p. 378 – 379, 1999.

INTERNATIONAL PAPER. **Plano de Manejo** Versão DPA 002-6. 23p. 2013.

JENNINGS, S. B.; BROWN, N. D.; SHEIL, D. Assessing forest canopies and understory illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. **Forestry**, v.72, n.1, p.59-73, 1999.

KAGEYAMA, P. Y., REIS, A., CARPANEZZI, A. A. Potencialidades e restrições da regeneração artificial na recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, Curitiba, **Anais**. p. 1. 1992.

LEITÃO-FILHO, H.F., Pagano, S.N., Cesar, O., Timoni, J.L. & Rueda, J.J. **Ecologia da Mata Atlântica em Cubatão**. Editora da Universidade Estadual Paulista & Editora da Universidade Estadual de Campinas, São Paulo & Campinas. 1993.

MACHADO, R.B.; RAMOS, M.B.N.; PEREIRA, P.; CALDAS, E.; GONÇALVES, D.; SANTOS, N.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Conservation International do Brasil, Brasília. 2004a.

- MAGURRAN, A.E. **Ecological diversity and its measurement**. New Jersey: Princeton University Press, 179 p. 1988.
- MARTINS, C.R.; LEITE, L.L.; HARIDASAN, M. Capim-gordura (*Melinis minutiflora* P. Beauv.), uma gramínea exótica que compromete a recuperação de áreas degradadas em unidades de conservação. **Revista Árvore**, Viçosa, v.28, n.5, p.739-747, 2004.
- MELO, A. C. G.; MIRANDA, D. L. C.; DURIGAN, G. Cobertura de copas como indicador de desenvolvimento estrutural de reflorestamentos de restauração de matas ciliares no médio Vale do Paranapanema, SP, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.2, p.321-328, 2007.
- MELO, A.C.G de. **Reflorestamentos de restauração de matas ciliares: análise estrutural e métodos de monitoramento no médio Vale do Paranapanema (SP)**. 2004. 151f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2004.
- MESSINA, R. **Elaboração e implantação de um modelo de recomposição ciliar às margens da Represa do Lobo, Itirapina, SP**. 1998. 151p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.
- NASCIMENTO, A. F. J.; SILVA, T. O.; SAMPAIO, E. V. S. B.; FILHO, R. N. A.; DANTAS, T. V. P. Quantificação de serrapilheira em diferentes áreas sob fragment do Parque Nacional Serra da Itabaiana, Sergipe. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, suplemento 1, p. 3271-3284, 2013.
- NÓBREGA, A. M. F.; VALERI, S. V.; PAULA, R. C.; SILVA, S. A. Regeneração natural em remanescentes florestais de áreas reflorestadas da várzea do rio Mogi-Guaçu, Luiz Antônio – SP. **Revista Árvore**, Viçosa, v.32, n.5, p.909-920, 2008.
- PARROTA, J. A. Secondary forest regeneration on degraded tropical lands: the role of plantations as “forest ecosystems”. In: LIETH, H.; LOHMANN, M. (Ed) **Restoration of tropical ecosystems**. The Hague: Kluwer Academic, cap. 2, p.63-73. 1993.
- PELÁ, M.; CASTILHO, D. **Cerrados: perspectivas e olhares**. Goiânia: Editora Vieira, 182 p. 2010.
- PIELOU, E.C. **An introduction to mathematical ecology**. Wiley. New York. 1969.
- PIELOU, EC. **Ecological Diversity**. New York, WileyInterscience. 165p. 1975.
- PIRES, A S. **Perda de diversidade de palmeiras em fragmentos de Mata Atlântica: padrões e processos**. 2006. 108p. Tese de Doutorado, Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.
- RODRIGUES, L.N. **Estudo da sucessão em Floresta Estacional Semidecidual úmida na cuesta de São Pedro/SP**. 1998. 110f. Dissertação (Mestrado) Universidade Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- RODRIGUES, R. R.; GANDOLFI, S. Conceitos, Tendências e Ações para a Recuperação de Florestas Ciliares. In: RODRIGUES, R. R.; LEITÃO-FILHO, H. de F. (orgs.). **Matas Ciliares: Conservação e Recuperação**. 3º edição. São Paulo: EDUSP, p. 235-247. 2004.
- RODRIGUES, R.R.; BRANCALION, P.H.S.; ISERNHAGEN, I. (Org.). **Pacto para a restauração da Mata Atlântica: referencial dos conceitos e ações de restauração florestal**. 1ed.São Paulo: Instituto BioAtlântica, v.1, p. 14-23. 2009.

RUSCHEL, A. R.; PEDRO, J.; NORADI, R. O. Diversidade genética em populações antropizadas do fumo brabo (*Solanum mauritianum*) em Santa Catarina, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 77, p. 63-72, mar. 2008.

SANTOS, J. R. **Recursos Hídricos no Cerrado Brasileiro**: importância e contribuições da educação ambiental na preservação e no manejo sustentável. Universidade de Brasília – UnB. Brasília, 2012.

SÃO PAULO. Resolução no08/2008, de 31 de janeiro de 2008. Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 01/02/2008. Seção Meio Ambiente.

SECRETARIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **RPPN SP/2013**: Anuário das Reservas Particulares do Patrimônio Natural Instituídas pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 2013. Disponível em: <www.ambiente.gov.sp.br>. Acesso em 15 de jun. de 2016.

SCHERER, C.; JARENKOW, J.A. Banco de sementes de espécies arbóreas em floresta estacional no Rio Grande do Sul, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.29, p.67-77, 2006.

SILVEIRA, E.R. **Recuperação de mata ciliar do córrego Tarumã (Tarumã, SP)**: aspectos ambientais de quatro modelos florestais de dez anos após o plantio. 2001. 82f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001.

SOARES, M. P.; NUNES, Y. R. F. Regeneração natural de cerrado sob plantio de *Eucalyptus camaldulensis* Dehn. no norte de Minas Gerais, Brasil. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n.2, p. 205-214, mar/abr, 2013.

SOCIETY FOR ECOLOGICAL RESTORATION INTERNATIONAL. **Princípios da SER Internacional sobre a restauração ecológica**, 15p. 2004.

SOUZA, F.M. **Estrutura e dinâmica do estrato arbóreo e da regeneração natural de áreas restauradas**. 2000. 69p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática**: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG II. 2. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 704 p. 2008.

SUGANUMA, M. S. et al. Comparando metodologias para avaliar a cobertura do dossel e a luminosidade no sub-bosque de um reflorestamento e uma floresta madura. **Revista Árvore**, Viçosa. v.32, n.2, p.377-385, 2008.

TORIOLA, D.; CHAREYRE, P.; BUTTLER, A. Distribution of primary forest plant species in a 19-year old secondary forest in French Guiana. **Journal of Tropical Ecology**, v.14, n.3, p.323-340, 1998.

CAPÍTULO 3

PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM FRAGMENTOS DE CERRADO SOB DIFERENTES ESTÁGIOS DE CONDUÇÃO DA REGENERAÇÃO NATURAL

Resumo: A presença de cobertura vegetal desempenha função reguladora no balanço hídrico por meio da captação e distribuição da água da chuva dentro dos compartimentos do ecossistema. De modo a contribuir para o conhecimento da repartição da precipitação sob vegetação de Cerrado com diferentes idades de restauração por condução da regeneração natural, o estudo buscou caracterizar o comportamento da interceptação (I), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e precipitação efetiva (Pe) em duas parcelas com diferentes idades de condução da regeneração natural: Tratamento 1 - 4 anos de regeneração natural após corte do eucalipto; Tratamento 2 - 10 anos de regeneração natural após corte do eucalipto e Tratamento 3 - 43 anos sem interferência humana, todas situadas em uma mesma microbacia da Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) Floresta das Águas Perenes, Brotas - SP. Em ambas as áreas foram demarcadas três parcelas de 400m², e para cada uma foram instalados 12 pluviômetros e escoamento pelo tronco em todas as árvores com DAP>5cm. Os dados foram registrados entre dezembro de 2015 e novembro de 2016. Foi realizada regressão linear para cada tratamento, com obtenção dos coeficientes de determinação e correlação, e análise de covariância entre os tratamentos. Para o Tratamento 1 a Pi foi de 100% do total precipitado na microbacia, Et de 0,01%, I igual a 0% e Pe de 100%. Já o Tratamento 2, a Pi correspondeu a 96%, Et a 0,19%, I igual a 4%, e Pe de 96%. Por fim, para o Tratamento 3, obteve-se para a Pi valor igual a 87%, Et igual a 1,15%, I de 12%, tendo Pe de 88%. Os resultados demonstraram diferenças significativas entre as três áreas estudadas. Pode-se perceber que a interceptação e o escoamento pelo tronco possuem comportamento crescente conforme o avanço da regeneração natural, ao passo que a precipitação interna e a precipitação efetiva diminuem. Tais resultados variaram conforme as características da vegetação, como por exemplo, a quantidade e densidade de indivíduos em cada parcela e espécies presentes, além das características climáticas e das precipitações incidentes sobre a área.

Palavras-chaves: Hidrologia florestal; precipitação interna; escoamento pelo tronco; interceptação.

Abstract: The presence of vegetation cover plays a regulatory role in the water balance through the capture and distribution of rainwater within the compartments of the ecosystem. In order to contribute to the knowledge of precipitation distribution under Cerrado vegetation with different ages of restoration by conduction of natural regeneration, the study sought to characterize the interception (I) behavior, throughfall (T), stemflow (St) and effective rainfall (Er) in two plots with different ages of natural regeneration: Treatment 1 - 4 years of natural regeneration after eucalyptus cutting; Treatment 2 - 10 years of natural regeneration after eucalyptus cutting and Treatment 3 - 43 years without human interference, all located in the same microbasin of the Natural Reserve of Natural Heritage (RPPN) Floresta das Águas Perenes, Brotas - SP. In both areas three plots of 400 m² were demarcated, and for each one, 12 pluviometers were installed and flow through the trunk in all trees with Diameter at breast height > 5 cm. Data were recorded between December 2015 and November 2016. Linear regression was performed for each treatment, with determination and correlation coefficients, and covariance analysis between treatments. For Treatment 1 the T was 100% of the total

precipitate in the microbasin, St of 0.01%, I equal to 0% and Er of 100%. Treatment 2, T corresponded to 96%, St to 0.19%, I to 4%, and Er to 96%. Finally, for Treatment 3, a value was obtained for Pi equal to 87%, St equal to 1.15%, I of 12%, having Er of 88%. The results showed significant differences between the three areas studied. It can be seen that the interception and flow through the trunk have increasing behavior as the natural regeneration progresses, while the internal precipitation and the effective precipitation decrease. These results varied according to the characteristics of the vegetation, for example, the quantity and density of individuals in each plot and species present, besides the climatic characteristics and the precipitations incident on the area.

Keywords: Forest hydrology throughfall; stemflow; interception.

3.1 INTRODUÇÃO

A presença de cobertura vegetal possui estreita relação com o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica. Ela desempenha uma importante função reguladora no contexto do balanço hídrico, promovendo a captação e distribuição da água da chuva dentro dos compartimentos do sistema, e assim auxilia a regulação do escoamento de água pelo solo, bem como no processo de suprimento de água para a recarga de aquíferos (ARCOVA e CICCIO, 1997; ARCOVA et. al., 2003).

A função da vegetação como reguladora hídrica tem início com a entrada de água no compartimento florestal. Inicialmente, quando ocorre a precipitação de chuvas, a vegetação recebe as águas pelas copas das árvores, ocorrendo o fracionamento do volume recebido, onde uma porção fica retida pelas próprias copas, em processo chamado de interceptação, e outra parcela de água segue até atingir o solo, no processo denominado precipitação efetiva, a qual consiste na soma da precipitação interna e do escoamento pelo tronco. Tais interações diminuem a força com que a água chega ao solo e distribui a água pelos compartimentos (LIMA, 1975; ARCOVA et al., 2003; LORENZON, et. al., 2013, HONDA, 2013).

Com relação à parcela inicial da precipitação que é retida pela vegetação, quanto maior for a superfície de folhagem, maior a área de retenção da água durante a precipitação. A chuva que não fica retida no dossel da vegetação, atinge o piso florestal, esta inclui gotas que passam diretamente pelas frestas das copas e gotas que respigam do dossel, e denomina-se precipitação interna. Já o escoamento pelo tronco é definido pela parcela de chuva que é retida pelas copas e escoam pelos troncos, juntamente com aquela que atinge diretamente os troncos e que posteriormente escoam por eles, ou seja, é a entrada hidrológica concentrada espacialmente na base do tronco da árvore que chega ao solo (TUCCI e CLARKE, 1997; ARCOVA, et. al., 2003; STAN II e LEVIA JR, 2010).

De acordo com Lorenzon et al. (2013) os valores de precipitação efetiva e interceptação podem variar dentro de um mesmo ecossistema, entre fragmentos próximos ou até dentro de um mesmo fragmento em virtude do estágio de regeneração da floresta. Similarmente, ambos os resultados permitem avaliar comparativamente áreas com e sem cobertura vegetal diante dos efeitos que podem ocorrer em ambas as situações.

Desta forma, esse estudo teve por objetivo monitorar a repartição de chuva em áreas florestais em diferentes estágios de restauração por condução da regeneração natural em uma microbacia da Reserva Particular de Patrimônio Natural (RPPN) Floresta das Águas Perenes, Brotas – SP.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado na RPPN Floresta das Águas Perenes, situada no município de Brotas, interior do estado de São Paulo, pertencente à empresa International Paper do Brasil Ltda. A RPPN, foi reconhecida em 2011 e selecionada pelo FSC (Forest Stewardship Council) como Floresta de Alto Valor de Conservação (FAVC) por ser considerada área que fornece serviços ambientais básicos em situações críticas, no caso proteção de bacias hidrográficas.

A RPPN Floresta das Águas Perenes possui 809,78 ha, está inserida no Bioma Cerrado e sua fitofisionomia é caracterizada como vegetação secundária de Cerrado e Cerradão. Antes ocupada por pastagens, nos últimos 43 anos foi destinada ao cultivo de eucalipto. A partir de 2006, após a colheita de alguns talhões de eucalipto, iniciou-se o processo de condução de regeneração natural de suas áreas.

O clima na região, segundo a classificação de Köppen, é Cwa, tendo verão úmido e inverno seco, e precipitação média anual entre 1400 e 1500mm (MESSINA, 1998; CEPAGRI, 2016). O tipo de solo predominante é Neossolo Quartzarênico (ALMEIDA et al., 1981; EMBRAPA, 1999).

O monitoramento dos indicadores hidrológicos foi realizado em áreas com dois estágios diferentes de condução de regeneração natural e uma área preservada, sendo: Tratamento 1 - 4 anos de regeneração natural após corte de eucalipto; Tratamento 2 - 10 anos de regeneração natural após corte de eucalipto; Tratamento 3 - 43 anos sem interferência humana (Figuras 1 e 2). Em cada tratamento foram estabelecidas três parcelas de 20x20 metros com espaçamento de 10 metros entre parcelas.

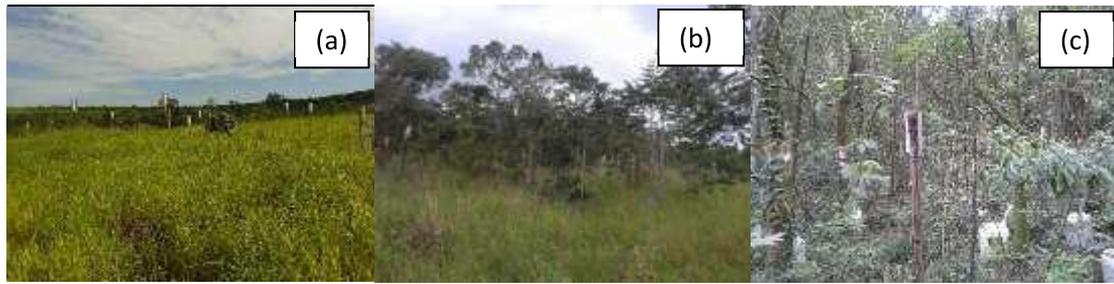


Figura 1. Parcelas de condução da regeneração natural aos (a) 4 anos, (b) 10 anos e (c) 43 anos de idade com equipamentos instalados. RPPN Águas Perenes, Brotas, SP, 2015.

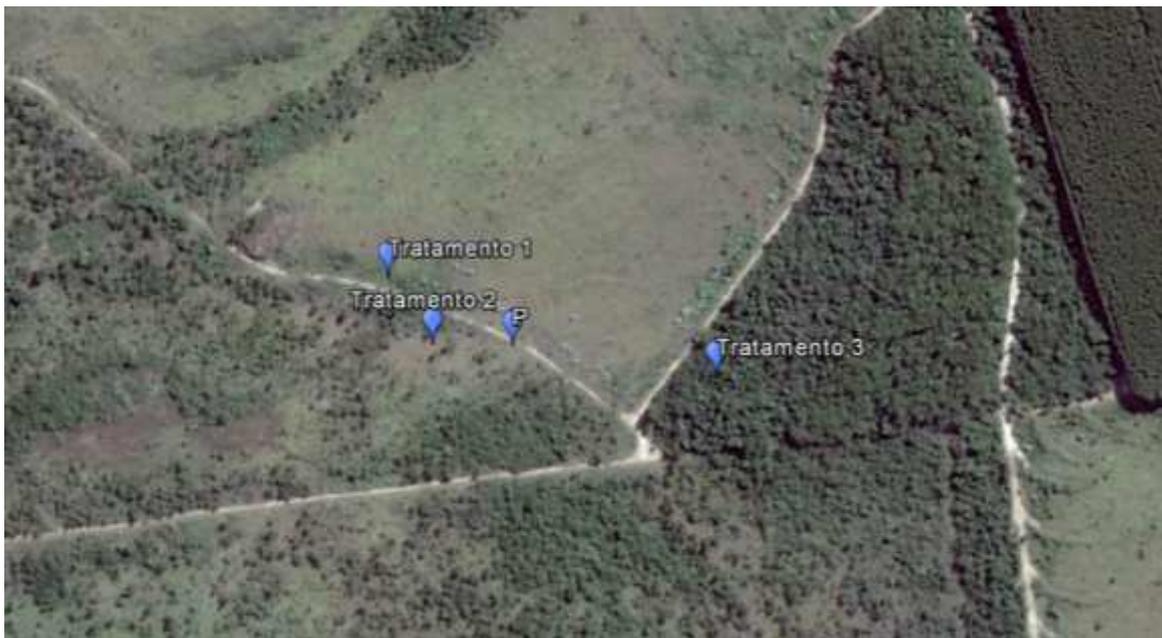


Figura 2. Localização aproximada dos tratamentos, onde P corresponde ao local que se encontra instalado o pluviômetro a céu aberto (GOOGLE EARTH, 2017).

O monitoramento dos indicadores hidrológicos ocorreu de dezembro de 2015 a novembro de 2016. As leituras foram feitas com auxílio de baldes e provetas graduadas, após um ou mais eventos de chuva.

Os pluviômetros utilizados na pesquisa foram confeccionados a partir de tubos e conexões de pvc com área de captação de 78,5 cm e altura de 20 cm, correspondendo à capacidade de armazenamento de 1,57 litros. A precipitação em aberto (P_a), foi obtida a partir de um pluviômetro instalado próximo às parcelas, com distância máxima de 30 metros entre os tratamentos, tendo-se o cuidado de eliminar qualquer barreira que influenciasse a captação de água da chuva.

O cálculo da precipitação em aberto foi obtido a partir da equação:

$$P_a = \left(\frac{V}{A} \right) * 10$$

Sendo, P_a a precipitação em aberto (mm), V o volume do pluviômetro (ml) e A a área de captação do pluviômetro (cm^2).

A precipitação interna (P_i) foi obtida com auxílio de 108 pluviômetros, distribuídos entre as 9 parcelas, correspondendo a 36 pluviômetros por tratamento. Para tanto, utilizou-se a seguinte equação:

$$P_i = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{V}{A} \right) * 10 \right] / n_i$$

Sendo, P_i a precipitação interna (mm), V o volume de cada coletor (ml), A a área de captação de cada coletor (cm^2) e n_i o número de pluviômetros (Figura 3).

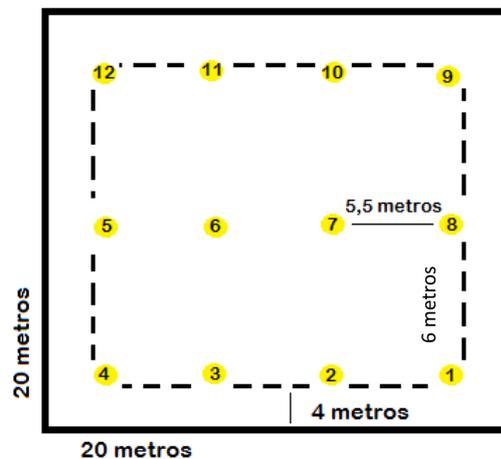


Figura 3: Croqui de ordenação para instalação dos pluviômetros.

A quantificação do escoamento pelo tronco, foi realizada em todas as árvores com circunferência altura do peito (DAP) $>5\text{cm}$, as quais foram envolvidas por uma calha confeccionada a partir de espuma de poliuretano, com a função de conduzir a água escoada pelos troncos para coletores de 20 litros. Ao todo, foram monitoradas 185 árvores e instalados 210 coletores (Figura 4).



Figura 4: Etapas da instalação do escoamento pelo tronco: (A) montagem da estrutura; (B) preenchimento com espuma; (C) secagem; (D) escoamento pelo tronco finalizado. Medição do volume armazenado no pluviômetro de precipitação em aberto (E); Medição do volume armazenado no coletor (F). RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas, SP. 2015.

Para o cálculo do Escoamento pelo tronco (E_t), tendo em vista que se buscou avaliar o balanço hídrico do local, segundo levantamento metodológico realizado por HONDA (2013), recomenda-se a medição do escoamento pelo tronco em todas as árvores da parcela amostral, dividindo-se o volume total pela área da parcela. Desta forma, evita-se subestimar o volume coletado quando há sobreposição de copas, ou superestimá-lo, em casos de distribuição esparsa dos indivíduos. Para isso, usou-se:

$$E_t = \left(\frac{V_t}{A} \right)$$

Sendo, E_t o escoamento pelo tronco (mm), V_t o volume total em litros (L) e A a área da parcela (m^2).

A precipitação efetiva (P_e), corresponde ao somatório da água escoada pelos troncos e a precipitação interna em cada formação florestal. Tendo seu cálculo realizado por:

$$P_e = P_i + E_t$$

Sendo, P_e a precipitação efetiva (mm), P_i a precipitação interna (mm) e E_t o escoamento pelo tronco (mm).

Por fim, a Interceptação (I) foi obtida a partir da diferença entre a precipitação em aberto e a precipitação efetiva em cada formação florestal. Sendo:

$$I = P_a - P_e$$

Onde, I é a interceptação (mm), P_a a precipitação em aberto (mm) e P_e a precipitação efetiva (mm).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer do estudo, 21 coletas de campo foram realizadas. Ao longo dos 12 meses monitorados, registrou-se um total de 1340 mm de chuva, valor semelhante ao referencial do município registrado por Climate-Data (2017) (1337mm). O período de maior volume acumulado foi o de dezembro de 2015 a março de 2016, com 804 mm. A maior precipitação ocorreu em janeiro com temporais que fizeram grandes estragos na região de Brotas. Com relação ao mês menos chuvoso, abril não registrou precipitação. Comparando-se os valores registrados neste estudo com as precipitações médias mensais obtidas por Climate-Data (2017) para Brotas, percebe-se uma variação no volume precipitado, principalmente, entre os meses de dezembro, janeiro, abril, maio e junho, demonstrando-se como atípicos (Figura 5).

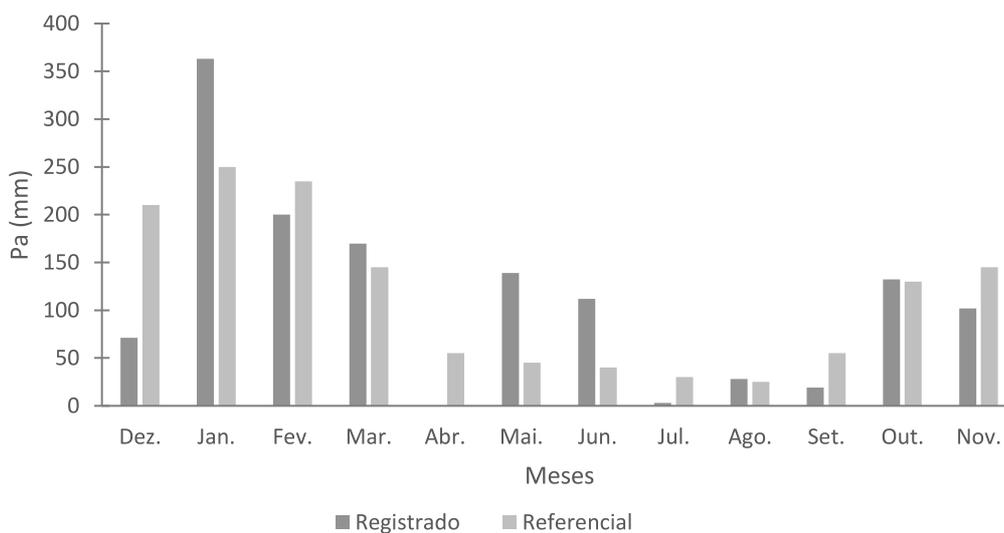


Figura 5: Precipitação em aberto (P_a) em mm registrada no período de dezembro de 2015 a novembro de 2016 comparada à obtida em referência, RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas – SP.

A P_i entre os três tratamentos foi decrescente do Tratamento 1 para o Tratamento 3 (Quadro 1), mostrando-se coerentes com a cobertura vegetal existente em cada área, já que a interceptação (I) também aumentou neste sentido. A precipitação interna (P_i) total registrada para o Tratamento 1 foi semelhante à precipitação em aberto (P_a) registrada para o período do estudo. Esse fato pode ser justificado pela presença de vegetação gramínea e/ou arbustiva em grande área do tratamento, o que favorece a baixa ou ausência de interceptação de chuva nesse ambiente. A análise de covariância realizada para a fração de precipitação interna confirmou diferença significativa entre os tratamentos, ou seja, o amadurecimento da floresta é capaz de provocar diferenças significativas nas precipitações internas.

No Tratamento 1, os registros de P_i variaram de 98% a 102% do total precipitado a céu aberto. No Tratamento 2, a variação de P_i foi de 87% a 102% da P_a , e, por fim, no Tratamento 3, esta variação foi de 68% a 98% (Quadro 1). Os valores de P_i que se mostraram acima de 100% nos Tratamentos 1 e 2, correspondem às leituras com precipitação interna média superior ao registrado à céu aberto. Estudos realizados por Moura et al. (2009), Togashi et al. (2012), e Lorenzon et al. (2013), também relataram tal incoerência, e apresentaram explicações baseadas na distribuição espacial irregular das chuvas dentro de uma bacia hidrográfica alongada, à distância entre o pluviômetro em aberto e as parcelas, diferenças de altitudes entre as parcelas, e a desuniformidade da cobertura vegetal.

Em teoria, seria impossível obter precipitação interna superior à precipitação à céu aberto, tendo em vista a interceptação que a vegetação promove sobre os eventos de chuva (MOURA et al., 2009). Porém, ressalta-se que o Tratamento 1, encontra-se praticamente desprovida de elementos arbóreos, apenas 3, sendo praticamente nula a interceptação arbórea. Outro aspecto relevante é que os registros que obtiveram P_i superior à P_a , correspondem, justamente, ao mês com eventos de chuva de maior volume (Janeiro/2016), os quais foram caracterizados como temporais com grande incidência de ventos.

Desta forma, estas diferenças de P_i podem estar relacionadas com a variação na estrutura da cobertura vegetal, presente, principalmente, no Tratamento 2, onde pode ocorrer a convergência de galhos, contribuindo para o gotejamento sobre determinados coletores (CAMARGO et al., 1999); à irregularidade topográfica, tamanho e espaçamento entre as árvores (NEAL et al., 1991), ou até mesmo a alta heterogeneidade das precipitações, tendo como principal fator a turbulência das correntes de ar (TOGASHI et al., 2012).

Quadro 1: Valores médios em mm e % da precipitação em aberto (Pa), precipitação interna (Pi), escoamento pelo tronco (Et) e interceptação (I) para os tratamentos 1, 2 e 3.

	Pa		Pi		Et		Pe		I		
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
Tratamento 1	Dez.	71	100	70	99	0,004	0,01	70,3	99	1,0	1
	Jan.	363	100	371	102	0,061	0,02	370,8	102	-7,8	-2
	Fev.	200	100	199	100	0,029	0,01	199,1	100	0,9	0
	Mar.	170	100	168	99	0,016	0,01	167,9	99	1,8	1
	Abr.	0	-	0	-	0,000	-	0,0	-	0,0	-
	Mai.	139	100	139	100	0,015	0,01	139,3	100	0,0	0
	Jun.	112	100	112	99	0,026	0,02	111,5	99	0,6	1
	Jul.	3	100	3	100	0,000	0,00	3,0	93	0,2	7
	Ago.	28	100	27	98	0,003	0,01	27,5	98	0,5	2
	Set.	19	100	19	99	0,003	0,01	19,0	99	0,1	1
	Out.	132	100	130	98	0,013	0,01	130,1	98	2,4	2
	Nov.	102	100	102	100	0,011	0,01	101,6	100	0,3	0
Total	1340	100	1340	100	0,180	0,01	1340,1	100	0	0	
Tratamento 2	Pa		Pi		Et		Pe		I		
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
	Dez.	71	100	66	92	0,043	0,06	65,7	92	5,7	8
	Jan.	363	100	369	102	0,765	0,21	370,2	102	-7,1	-2
	Fev.	200	100	199	99	0,431	0,22	199,0	100	1,0	0
	Mar.	170	100	159	94	0,217	0,13	159,5	94	10,3	6
	Abr.	0	-	0	-	0,000	-	0,0	-	0,0	-
	Mai.	139	100	121	87	0,274	0,20	121,2	87	17,7	13
	Jun.	112	100	98	88	0,267	0,24	98,7	88	13,4	12
	Jul.	3	100	3	87	0,001	0,03	2,8	87	0,4	13
	Ago.	28	100	26	92	0,063	0,23	25,7	92	2,3	8
	Set.	19	100	19	100	0,042	0,22	19,1	100	0,0	0
Out.	132	100	127	96	0,271	0,20	127,3	96	5,2	4	
Nov.	102	100	98	96	0,235	0,23	97,7	96	4,2	4	
Total	1340	100	1284	96	2,610	0,19	1286,9	96	52,9	4	
Tratamento 3	Pa		Pi		Et		Pe		I		
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	
	Dez.	71	100	50	70	0,407	0,57	50,6	71	20,8	29
	Jan.	363	100	345	95	4,081	1,12	349,3	96	13,8	4
	Fev.	200	100	181	90	2,049	1,02	182,5	91	17,5	9
	Mar.	170	100	130	77	2,165	1,28	132,5	78	37,3	22
	Abr.	0	-	0	-	0,000	-	0,0	-	0,0	-
	Mai.	139	100	111	80	1,603	1,15	112,4	81	26,5	19
	Jun.	112	100	96	86	1,653	1,47	97,9	87	14,2	13
	Jul.	3	100	2	68	0,008	0,24	2,2	68	1,0	32
	Ago.	28	100	21	75	0,340	1,21	21,4	76	6,6	24
	Set.	19	100	17	87	0,306	1,60	17,0	89	2,1	11
Out.	132	100	115	87	1,294	0,98	115,9	88	16,5	12	
Nov.	102	100	100	98	1,456	1,43	101,4	99	0,6	1	
Total	1340	100	1168	87	15,361	1,15	1183,0	88	156,8	12	

Os poucos eventos de chuva que obtiveram Pi acima dos valores registrados para Pa não foram capazes de interferir na Pi média de cada tratamento a ponto que estas

excedessem 100%. Com a retirada desses eventos, obteve-se P_i médio de 99% para o Tratamento 1, 93% para o Tratamento 2, e 87% para o Tratamento 3. Percebe-se pouca alteração nos dados.

Em estudo realizado por Honda (2013), em fisionomias de Cerrado Típico, Cerrado Denso e Cerradão, obteve-se para cada fisionomia, P_i correspondeu à 95%, 89%, e 80%, respectivamente. Outros estudos também realizados em regiões de Cerrado, como Lima (1975) e Lima e Nicolielo (1983) obtiveram P_i igual a 73%. Já Leopoldo e Conte (1985), registraram P_i igual a 80%, em São Manuel. Desta forma, verifica-se que P_i em ambientes de Cerrado, varia de 73% a 95%. Sendo que, para florestas tropicais, Bruinjeel (1990) e Oliveira et al. (2008), registraram P_i dentro do intervalo de 75% a 96%. Verificou-se desta forma, que os resultados para a fração precipitação interna encontrados neste estudo também estão dentro dos resultados tidos como referência.

Outro aspecto analisado foi que P_i tende a ser decrescente conforme o aumento da densidade de indivíduos. Estima-se que para cada aumento de 1m^2 na área basal é reduzido em 1% a quantidade de chuva que transpassa o dossel e chega ao solo (DIETZ et al., 2006; MOLINA e CAMPO, 2012). Assim, estudo realizado por Honda (2013), em Assis, concluiu que quanto maior o volume de chuva e menor a biomassa, em gradientes de Cerrado, maior será o volume de chuva que chegará ao solo. Ou seja, existe relação positiva entre volume de chuva à céu aberto e biomassa vegetal. Comportamento semelhante foi observado no presente estudo.

As precipitações internas correspondentes para cada tratamento foram agrupadas e submetidas à análise de regressão linear (Figura 6). Todas as áreas apresentaram elevada relação de P_i com a precipitação incidente, com valores do coeficiente de determinação (R^2) iguais a 0,99, para todos os tratamentos. Podemos dizer que P_i é explicada em 99% pela P_a . O coeficiente de correlação para todos os tratamentos foi igual a 0,99, demonstrando que a precipitação interna tem alta correlação com a variável precipitação em aberto. Além disso, para todos os tratamentos a relação se apresentou significativa em nível de 95% de confiança.

Os valores de R^2 para todas as áreas foram semelhantes aos valores obtidos por Arcova et al. (2003), Diniz et al. (2013), Lorenzon et al. (2013) e Togashi et al. (2012).

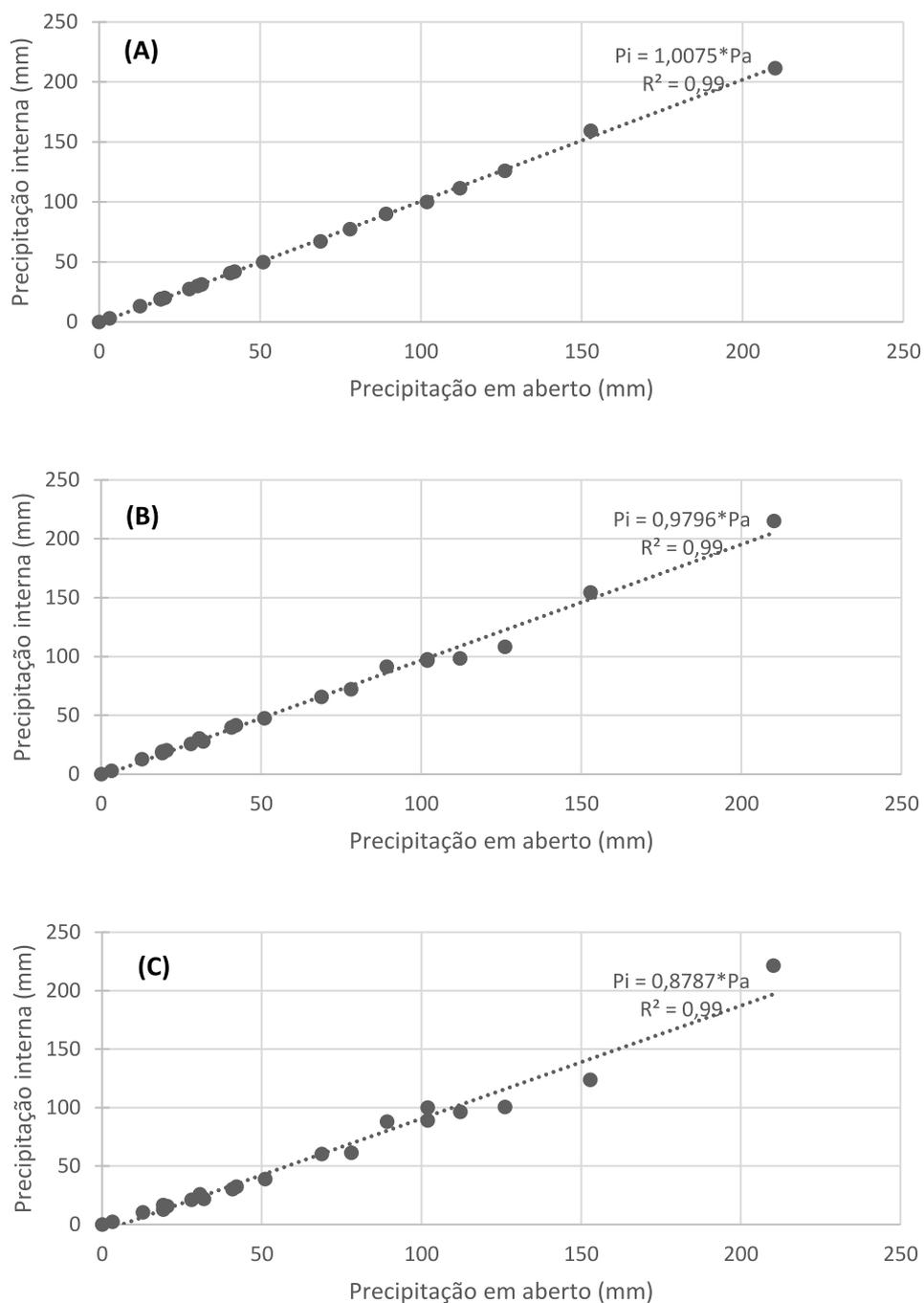


Figura 6: Relação entre a precipitação em aberto e precipitação interna para (A) tratamento 1; (B) tratamento 2; (C) tratamento 3, RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas – SP. Período de 03 de dezembro de 2015 a 24 de novembro de 2016.

A partir da equação linear de cada tratamento (Figura 6), foi possível estimar o volume de precipitação em aberto necessário para que ocorra precipitação interna. Verificou-se que valores acima de 0,99 mm, 1,02 mm e 1,13 mm respectivamente nos Tratamentos 1, 2 e 3 permitem o registro de precipitação interna.

O escoamento pelo tronco (Et), no presente estudo, contribuiu com a menor parcela no âmbito do balanço hídrico (Quadro 1). Por ser a menor parcela e possuir grande variação entre indivíduos, muitas vezes é desprezado em estudos sobre o tema (LIMA e NICOLIELO, 1983; HONDA, 2013). Contudo, sua importância se faz frente as contribuições diretas que realiza na base dos troncos, seja com relação a riqueza de nutrientes lixiviados dos galhos, folhas e tronco presentes na água que escorre pelos troncos, ou por facilitar a percolação da água através das raízes, exercendo efeito considerável na dinâmica hídrica do solo (ARCOVA, CICCIO, 1987; BALIEIRO et al., 2004; LI, 2009; WANG et al., 2011).

Os valores obtidos são diferentes dos apresentados por Honda (2013), em estudo realizado em Assis e que contou com o mesmo critério de seleção das árvores para monitoramento do escoamento pelo tronco ($DAP > 5\text{cm}$). Para área de Cerrado Típico Et correspondeu à 0,7%; Cerrado Denso, 1,5%, e Cerradão, 2,4% (HONDA, 2013). Leopoldo e Conte (1985), por sua vez, encontraram valores ainda maiores para áreas de Cerrado em São Manuel, sendo Et igual a 2,9%. Para outros tipos de vegetação, como no caso de ambientes com Mata Atlântica, verificou-se que Et variou entre 0,2% a 1,1% do valor total de precipitação (CICCIO et al., 1986/1988; NALON e VELLARDI, 1992; ARCOVA et al., 2003; MOURA et al., 2009; FREITAS et al., 2013).

Lembrando-se que os ambientes estudados se encontram em diferentes idades de regeneração natural, vale compará-los com estudos que avaliaram Et em condições semelhante. Para tanto, Diniz et al. (2013), ao avaliarem a precipitação em diferentes estágios sucessionais de mata atlântica, registraram Et igual a 0,5% em árvores com DAP igual ou superior a 10 cm, enquanto Oliveira Júnior e Dias (2005), em estudo conduzido em fragmento de mata atlântica, em estágio inicial de sucessão, registrou Et equivalente à 1,7% para árvores com $DAP > 5\text{ cm}$. Tais valores são próximos aos encontrados nos tratamentos estudados.

Muitos fatores podem estar envolvidos nas disparidades observadas entre os dados registrados para este estudo com os obtidos na literatura. Sabe-se que nem todas as pesquisas utilizam as mesmas metodologias, como por exemplo a mesma medida para seleção das árvores, ou até mesmo o método mais indicado, o qual seria a escolha de uma área representativa e a medição da fração em todos os indivíduos (HANCHI e RAPP, 1997). Tais divergências metodológicas geralmente são motivadas pela dificuldade em se realizar a medição do escoamento pelo tronco em todos os indivíduos arbóreos, ou até mesmo pela dificuldade em se determinar corretamente a área representativa para o estudo (ABOAL et al., 1999b).

Além da forte relação que há entre o escoamento pelo tronco e as características da precipitação, ou as dimensões das árvores, fatores como a rugosidade da casca, ângulo dos ramos, inclinação e tortuosidade dos galhos, densidade foliar e a relação entre árvores vizinhas também são relevantes na contribuição ao volume de água que escorre pelos troncos (ABOAL et al., 1999; LI et al., 2009; STAN e LEVIA, 2010; GERMER et al., 2010; HONDA et al., 2015). Assim, no Cerrado que possui diferentes fisionomias com variação no gradiente de biomassa, estrutura e arquitetura das árvores e abrange desde campos abertos até ambientes com formas florestais, é possível que a água tome caminhos diferentes, bem como chegue em quantidades diferentes ao solo (DURIGAN et al., 2002; WALTER et al., 2008; PINHEIRO, DURIGAN, 2012; HONDA, 2013; HONDA et al., 2015). Nota-se, contudo, a falta de estudos que avaliem o escoamento pelo tronco nesses ambientes (HONDA, 2013), da mesma forma, há poucas pesquisas que abordem diferentes estágios/idades de regeneração dentro do Cerrado.

Todavia, os valores de E_t registrados neste trabalho são crescentes conforme o incremento da vegetação e a análise de covariância desta fração indicou diferenças significativas entre os tratamentos. A regressão linear para a relação $P_a \times E_t$ nos Tratamentos 1, 2 e 3, forneceram um coeficiente de determinação entre 0,87 e 0,94 (Figura 7), próximos aos encontrados na literatura (ARCOVA et al., 2003; OLIVEIRA JÚNIOR e DIAS, 2005; MOURA et al., 2009). Quando analisado o índice de correlação, os valores foram de 0,93 para o Tratamento 1, 0,96 para o Tratamento 2 e 0,97 para o Tratamento 3 o que demonstra uma boa correlação entre as variáveis testadas, porém sugere possível interferência de outros aspectos que não só a precipitação em aberto. Quanto a significância, em todos os tratamentos a relação apresentou-se significativa em nível de 95% de confiança.

A partir das equações fornecidas pelos modelos de regressão linear de cada tratamento, estimou-se os valores de P_a para que ocorra registro de escoamento pelo tronco. Para o Tratamento 1, estimou-se P_a igual ou superior a 0,9 mm, para o Tratamento 2, 9,35 mm, e para o Tratamento 3, 5 mm. Valores de precipitação em aberto inferiores a estes, possivelmente não seriam capazes de produzir volumes de escoamento pelo tronco, ficando a chuva retida pela copa ou pelo próprio tronco, retornando à atmosfera por evaporação, ou ainda, gotejando pelas folhas diretamente sobre o terreno, caracterizando precipitação interna. Da mesma forma, Shinzato et al. (2011) encontraram que a partir de precipitações incidentes iguais ou superiores a 11,0 mm, 6,6 mm e 8,2 mm há escoamento

pelo tronco para os povoamentos de Floresta Estacional Semidecidual, *E. cloeziana* e *Pinus* sp., respectivamente.

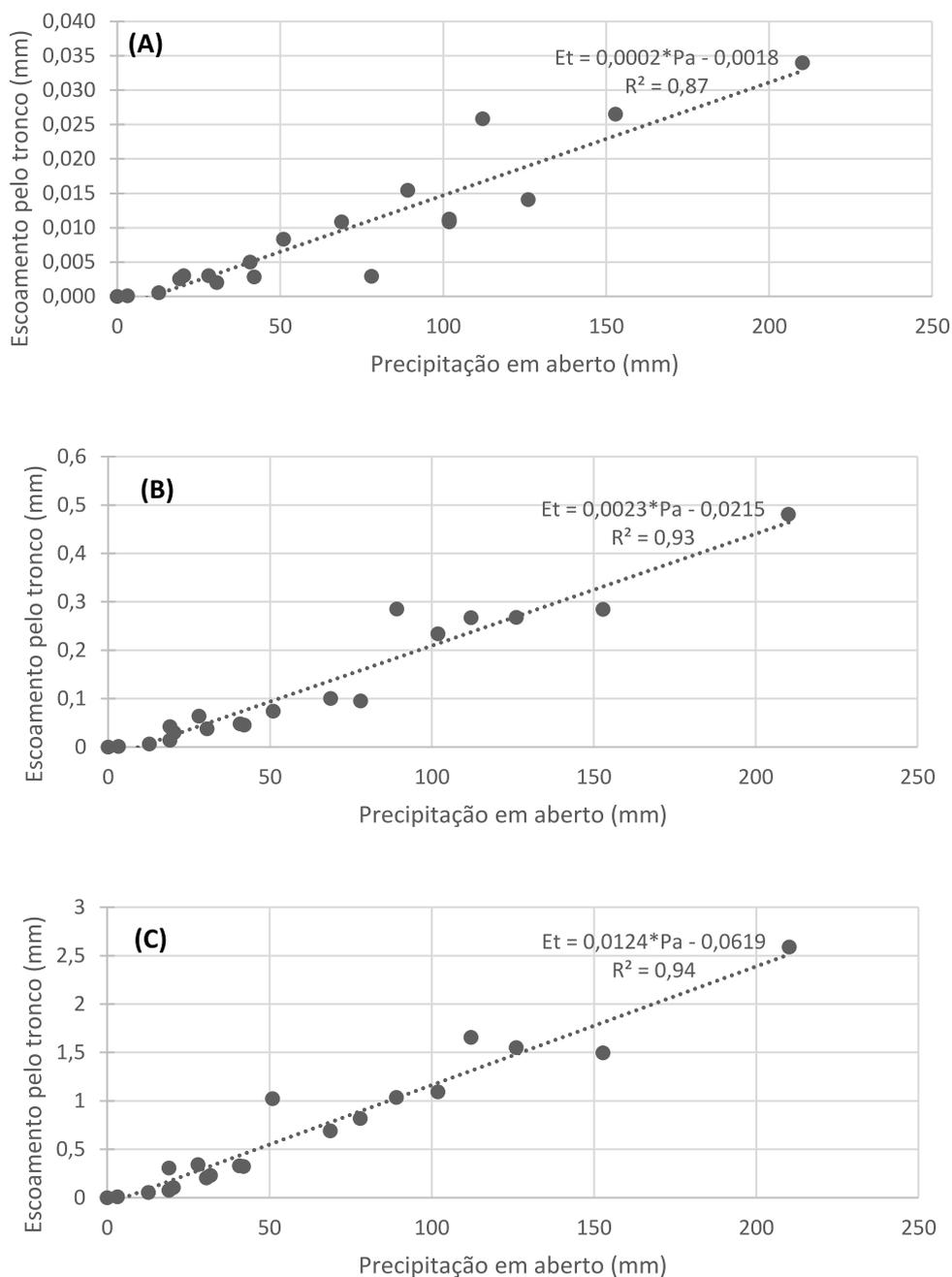


Figura 7: Relação entre o escoamento pelo tronco e (A) precipitação total para o tratamento 1; (B) tratamento 2; (C) tratamento 3, RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas – SP. Período de 03 de dezembro de 2015 a 24 de novembro de 2016.

Interessante observar que o valor obtido para o Tratamento 3 (5 mm) é inferior ao estimado para o Tratamento 2 (9,3 mm). Isso poderia ter explicação na presença de

palmeiras no Tratamento 3, as quais facilitam a captação da chuva e seu escoamento pelo tronco (TOGASHI et al., 2012; LORENZON et al., 2015; CORREA et al., 2016).

A precipitação efetiva acumulada no Tratamento 1 foi a mais elevada dentre os tratamentos (100%), seguida do Tratamento 2 (96%), e Tratamento 3 (88%) (Quadro 1). Tendo em vista que os eventos que apresentaram tal comportamento obtiveram grande volume de chuva registrado antes e durante, este fato pode ser explicado devido a redução da capacidade de armazenamento da água da chuva pelas copas em eventos de chuva muito intensos (TOBON MARIN et al., 2000).

Valores de precipitação efetiva obtidos na literatura indicam grande variação entre os diversos tipos de vegetação. Para ambientes de mata atlântica com floresta estacional semidecidual, há registros de Pe variando desde 81,4 a 87,06% (CASTRO et al., 1983; ARCOVA et al., 2003; OLIVEIRA JÚNIOR e DIAS, 2005; ALVES et al., 2007). Quando analisado o mesmo tipo vegetacional, porém com vegetação em idades diferentes, Diniz et al. (2003) mostraram que para vegetação com 20 anos Pe correspondeu à 77,89%; para vegetação com 30 anos, a Pe foi de 79,26%, por fim, áreas com vegetação de 60 anos, Pe foi de 76,98%. Isso mostra que, se comparada as áreas com idade de 20 e 60 anos, observa-se uma tendência na redução de Pe.

Em trabalhos realizados na Amazônia, onde a vegetação é mais densa, foram encontrados de Pe igual a 78,5%, para floresta localizada em Caxinauã (OLIVEIRA et al., 2008), 78%, no Amazonas (FRANKEN et al., 1982a); 87,1% no sudeste do Pará e 88,4% em Rondônia (UBARANA, 1996). Para ambientes de cerrado, Pe encontrada variou de 96% a 80% entre fitofisionomias de cerrado típico, cerrado denso e cerradão (HONDA, 2013).

Como resultado da regressão linear entre P_a x P_e , os coeficientes de determinação para todos os tratamentos foram iguais à 99% (Figura 8). Tal resultado corrobora o fato de que praticamente toda a chuva precipitada sobre a área em estado inicial de regeneração, são convertidas em P_e , tendo em vista a baixa densidade de indivíduos arbóreos presentes. A literatura traz valores de R^2 para P_e em relação a P_a de 0,99 (OLIVEIRA JÚNIOR e DIAS, 2005), 0,96 (DINIZ et al., 2013), e 0,99 e 0,98 (LORENZON et al., 2013), todos compatíveis com o observado no presente estudo. O coeficiente de correlação foi acima de 0,99 para os tratamentos e todos mostraram-se significativos ao nível de confiança de 95%. Quanto a análise de covariância, observou-se presença de diferenças significativas nas frações de precipitação interna entre os tratamentos estudados.

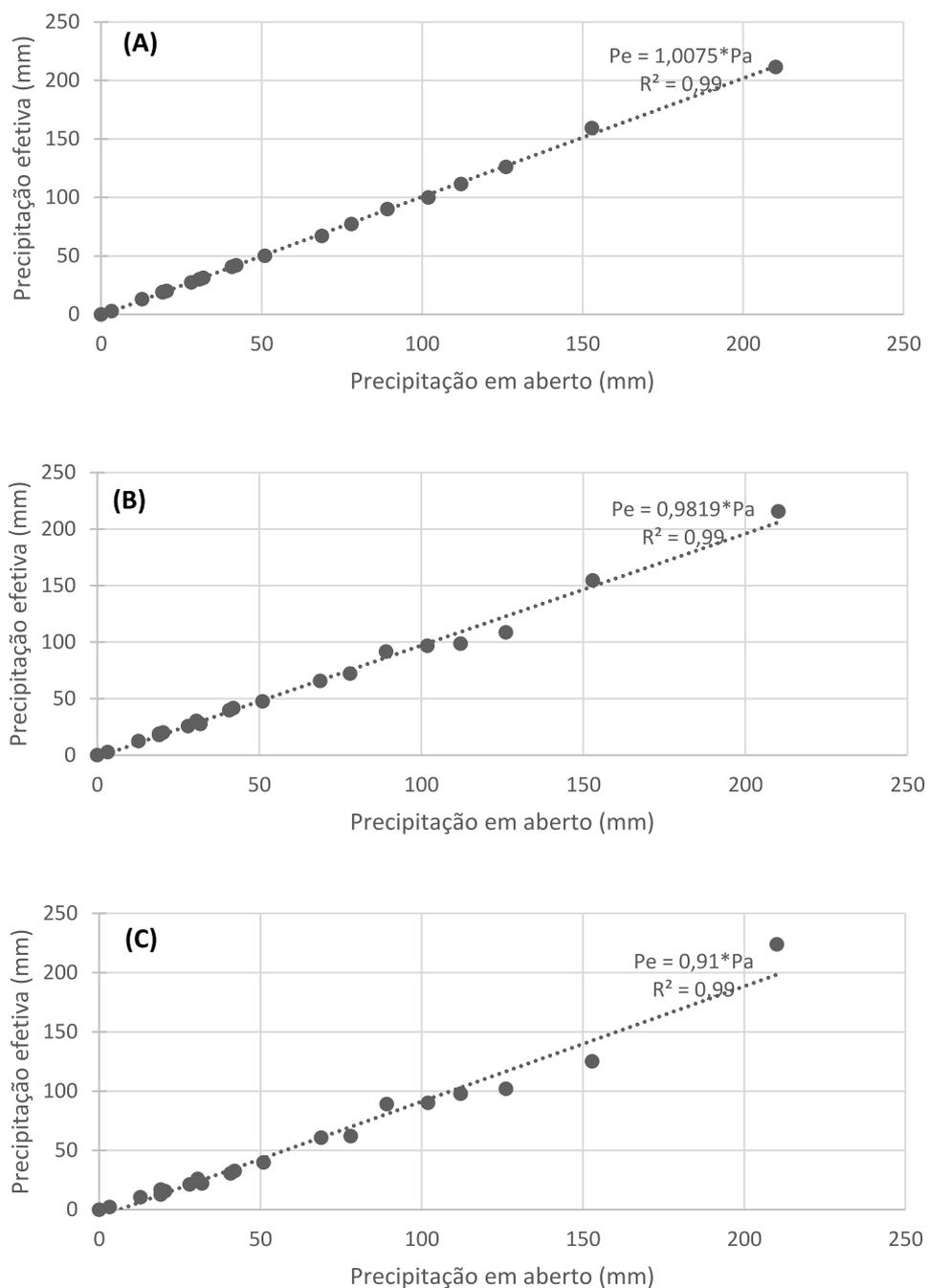


Figura 8: Relação entre a precipitação efetiva e a precipitação total para (A) tratamento 1; (B) tratamento 2; (C) tratamento 3, RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas – SP. Período de 03 de dezembro de 2015 a 24 de novembro de 2016.

A interceptação, que consiste na retenção de parte da precipitação acima da superfície do solo, pode ocorrer devido à vegetação ou outra forma de obstrução ao escoamento (BALBINOT et al, 2008). Para o tratamento 1, devido a exposição dos pluviômetros à pleno sol, a interceptação também pode refletir a evaporação da água armazenada. Buscando evitar a evaporação, os equipamentos foram construídos de forma a minimizar ao máximo tal perda.

Ao se analisar os dados verificou-se que os valores de interceptação (I) aumentaram conforme a idade dos tratamentos, constatando desta forma a influência que a vegetação exerce frente ao barramento da chuva (Quadro 1). Dando atenção a cada evento de precipitação registrado nota-se que para alguns deles há valores de interceptação (I) negativa, especificamente o mês de janeiro para os Tratamentos 1 e 2. Tais registros correspondem aos valores de Pe acima de 100% da precipitação em aberto, indicando que não houve interceptação, mas sim aumento na precipitação efetiva. Nestes dados pode ter ocorrido influência das condições meteorológicas correspondentes ao volume, à intensidade e à duração das chuvas, velocidade do vento e ao intervalo entre os eventos (CROCKFORD e RICHARDSON, 2000, BALBINOT et al., 2007). Também pode ter relação com as condições da vegetação e características relacionadas às florestas, destacando-se a arquitetura das plantas, estrutura e densidade do dossel, composição e heterogeneidade da comunidade das espécies, mas principalmente, a densidade do dossel e a área foliar (GASH et al., 1995; ÁVILA et al., 2014).

Quando excluído os valores de interceptação negativos registrados para o Tratamento 1 e 2, temos I média de 1% para o Tratamento 1, e 7% para o Tratamento 2. Tendo em vista que em fisionomias mais ralas, com árvores de estaturas mais baixas e com distribuição mais espaçada, a retenção da chuva será mínima, e que a transição para fisionomias mais densas, implicará no aumento da densidade vegetal, porte dos indivíduos e biomassa foliar, aumentando assim a capacidade de interceptação (HONDA, 2013), o mesmo pode ser observado nas diferentes idades de regeneração natural, indicando que há aumento gradual na quantidade interceptada conforme o aumento da biomassa presente nas parcelas de estudo. A análise de covariância realizada para os três tratamentos demonstrou diferenças significativas para a interceptação.

Com relação à outros valores de I encontrados na literatura, temos que para ambientes de floresta tropical, I varia de 4,5% a 24% (BRUINJZEEL, 1990), sendo que em estudos realizados em Mata Atlântica, I foi de 8,6% a 18,6% (CASTRO et al., 1983; COELHO NETTO et al., 1986; CICCIO et al., 1986/88; NALON e VELLARDI, 1992; CARDOSO et al., 2002; ARCOVA et al., 2003; FERREIRA et al., 2005; OLIVEIRA JÚNIOR e DIAS, 2005; MOURA et al., 2009; FREITAS et al., 2013; SÀ et al. 2016). Para ambientes de Cerrado, o número de estudos que quantificaram a interceptação é inferior à outros ambientes, mesmo assim temos que Leopoldo e Conte (1985), obtiveram 17% de I para fisionomia de cerradão; também para cerradão, Lima e Nicolielo (1983), registraram 27% de I. E Honda (2013), em estudo realizado em Assis, onde estudou as

fisionomias de cerrado típico, cerrado denso e cerradão, obteve, respectivamente, I igual a 5%, 9%, e 20%. Valores próximos aos encontrados neste estudo.

Os coeficientes de determinação para a relação $P_a \times I$, comparado com a precipitação interna, escoamento pelo tronco e precipitação efetiva, foram os mais baixos. Já o coeficiente de correlação foi igual a 0,42 para o tratamento 1, 0,83 para o tratamento 2, e 0,71 para o tratamento 3. Desta forma, a interceptação pouco é explicada pela precipitação em aberto, mostrando que sofre influência de outros aspectos, como por exemplo, a intensidade de chuva e presença de ventos (NALON e VELLARDI, 1992; MOURA et al., 2009). Diniz et al. (2013) e Lorenzon et al. (2013) também encontraram valores reduzidos, abaixo de 0,57 quando analisaram I com relação a P_a .

3.4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados, a precipitação interna e precipitação efetiva tiveram comportamento decrescente conforme o avanço da regeneração natural, ao passo que os valores registrados para escoamento pelo tronco e interceptação da chuva aumentaram com o incremento da vegetação. Quando analisados quanto a tendência linear dos dados, a precipitação interna, escoamento pelo tronco e precipitação efetiva obtiveram maiores coeficientes de determinação, sendo a precipitação interna a variável que mais contribuiu para a quantidade de água que chega ao solo.

Por sua vez, a interceptação apresentou baixa correlação com a precipitação em aberto, indicando que sofre influência de outros fatores. Além disso, a interceptação mostrou-se nula para eventos de chuva muito intensos o que evidencia uma capacidade máxima de retenção da água de chuva pelo dossel florestal.

De acordo com a análise de covariância aplicada para cada fração dentre os tratamentos, foi possível concluir que há diferenças significativas para cada uma conforme o avanço da regeneração natural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOAL, JR.; JIMENEZ, M. S.; MORALES, D.; HERNANDÉZ, J. M. Rainfall interception in laurel forest in the Canary Islands. **Agricultural and Forest Meteorology** 97: 73-86. 1999.

ALMEIDA, C.F.L., OLIVEIRA, J.B. & PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do estado de São Paulo**: quadrícula de Brotas 1. Mapa de solos. Instituto Agrônomo de Campinas, Campinas. 1981.

ALVES, R. F. et al. Avaliação da precipitação efetiva de um fragmento de Mata Atlântica em diferentes estádios de regeneração no município de Viçosa – MG. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 2, n 1, p. 83-93, 2007.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V.; ROCHA, P. A. B. Precipitação efetiva e interceptação das chuvas por floresta de mata atlântica em microbacia experimental em Cunha – São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.2, p.257-262, 2003.

ARCOVA, F.C.S.; CICCIO, V. Características do deflúvio de duas microbacias hidrográficas no Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerich, Cunha – SP. **Revista Instituto Florestal de São Paulo**, v.9, n.2, p.153-170, 1997.

ARCOVA, F.C.S. e CICCIO, V.de. Fluxo de nutrientes através da precipitação interna e escoamento pelo tronco em floresta natural secundária no Parque Estadual da Serra do Mar - Núcleo Cunha - SP. **Boletim Técnico IF**. São Paulo, v.41, n.1, p.37-58, março, 1987.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; PINTO, L. C.; SILVA, A. M. Partição da precipitação pluvial em uma microbacia hidrográfica ocupada por mata atlântica na Serra da Mantiqueira, MG. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 583-595, jul.-set, 2014.

BALBINOT, R.; OLIVEIRA, N. K.; VANZETTO, S. C.; PEDROSO, K.; VALÉRIO, A. F. O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. **Ambiência** - Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais V. 4 N. 1 Jan./Abr. 2008.

BALIEIRO, F.C.; DIAS, F.C.; FRANCO, A.A.; CAMPELLO, E.F.C.; FARIA, S.M. Acúmulo de nutrientes na parte aérea, na serapilheira acumulada sobre o solo e decomposição de filódios de *Acacia mangium willd.* **Ciência Florestal**, Santa Maria, 14: 59-65, 2004.

BRUINJEEL, L. A. The hydrological cycle in moist tropical forest. In: BRUIJNZEEL, L. A. **Hydrology of moist tropical forests and effects of conversion: a state of knowledge review**. Amsterdam: IAHS. p. 5-38, 1990

CAMARGO, M. B. P.; HUBBARD, K. G. Spatial and temporal variability of daily weather variables in sub-humid and semiarid areas of the United States high plains. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.93, n.2, p.141-148, 1999.

CARDOSO, C. A. et. al. Precipitação interna de um fragmento de mata atlântica no município de Viçosa-MG. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 1., 2002, Cuiabá. **Anais....** Cuiabá: SBCS, 2002. 1 CD ROM.

CASTRO, P. S; VALENTE, O. F.; COELHO, D. T.; RAMALHO, R. S. Interceptação da chuva por mata natural secundária na região de Viçosa, MG. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 7, n. 1, p. 76-89, Jun. 1983.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA – CEPAGRI. Dados meteorológicos. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/index.html>>. Acesso em 23 de mai. de 2016.

CICCIO, V. et al. Interceptação das chuvas por floresta natural secundária de Mata Atlântica São Paulo. **Silvicultura em São Paulo**, v. 20/22, p. 25-30, 1986/88.

COELHO NETTO, A. L.; SANCHE, M.; PEIXOTO, M. N. O. Precipitação e interceptação florestal em ambiente tropical montanhoso, Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia**, v. 4, n. 2, p. 55-71, 1986.

CORRÊA, J. B. L.; DIAS, H. C. T.; SATO, A. Y.; TONELLO, K. C.; FERRAZ, A. C.; FERREIRA, F. M. The influence of the number of leaves in the macaúba palm *Acrocomia aculeata* (Jacq.) Lodd. Ex Mart. on the correlation between stemflow and gross precipitation. **Revista Árvore**, Viçosa, v.40, n.3, p.387-393, 2016.

CROCKFORD, R. H.; RICHARDSON, D. P. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. **Hydrological Processes**, v. 14, n. 1617, p. 2903–2920, Nov./Dec. 2000.

DIETZ, J. et al. Rainfall partitioning in relation to forest structure in differently managed montane forest stands in Central Sulawesi, Indonesia. **Forest Ecology and Management**, v. 237, n. 1-3, p. 170-178, Dec. 2006.

DINIZ, A. R.; PEREIRA, M. G.; BALIEIRO, F. C.; MACHADO, D. L.; MENEZES, C. E. G. Precipitação e aporte de nutrientes em diferentes estádios sucessionais de floresta atlântica, Pinheiral – RJ. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 23, n. 3, p. 389-399, jul.-set., 2013.

DURIGAN, G.; NISHIKAWA, D. L. L.; ROCHA, E.; SILVEIRA, E. R.; PUTILANO, F. M.; REGALADO, R. B.; CARVALHAES, M. A.; PARANAGUÁ, P. A.; RANIERI, V. E. L. Caracterização de dois estrados da vegetação em uma área de cerrado no município de Brotas, São Paulo, Brasil. **Acta bot. bras.** 16(3): 251-262, 2002.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro 412 p, 1999.

FERREIRA, S. J. F. et. al. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 1, p. 55-62, Nov. 2005.

FRANKEN, W.; LEOPOLDO, P.R.; MATSUI, E.; RIBEIRO, M.N.G. Estudo da interceptação da água da chuva em cobertura florestal Amazônica do tipo terra firme. **Acta Amazonica**. V.12, N.2, P.327-331. 1982a.

FREITAS, J. P. O.; DIAS, H. C. T.; BARROSO, T. H. A.; POYARES, L. C. Q. Distribuição da água da chuva em Mata Atlântica. **Ambiente e Água**, Taubaté, v. 8, n. 2, p. 100-108, 2013.

GASH, J. H. C.; LLOYD, C. R.; LACHAUD, G. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. **Journal of Hydrology**, 170, 79-86. 1995.

GERMER, S.; ELSENBEER, H.; MORAES, J. M. Throughfall and temporal trends of rainfall redistribution in an open tropical rainforest, south-western Amazonia (Rondônia, Brazil). **Hydrology and Earth System Sciences**, v.10, n.3, p.383-393, 2006.

CLIMATE-DATA.ORG. **Gráfico Climático de Brotas**. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/34905/>>. Acesso em 21 de fevereiro de 2017.

HANCHI, A.; RAPP, M. Stemflow determination in forest stands. **Forest Ecology and Management**. V.97, p.231-235. 1997.

HONDA, E. A.; MENDONÇA, A. H.; DURIGAN, G. Factors affecting the stemflow of trees in the Brazilian Cerrado. **Ecohydrology**, 8, 1351-1362. 2015.

HONDA, E. A. **Repartição da água da chuva sob o dossel e umidade do solo no gradiente fisionômico da vegetação do Cerrado**. 29 de nov. de 2013. 189 p. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2013.

INTERNATIONAL PAPER. Plano de Manejo Versão DPA 002-6. 2013. 23p.

LEOPOLDO, P. R.; CONTE, M. L. Repartição da água de chuva em cobertura vegetal com características de cerrado. In: SIMPSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 6., 1985, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ABRH, 1985. v. 3. p. 212-220.

LI X, Y. Z.; LI Y, L. H. Connecting ecohydrology and hydrology in desert shrubs: stemflow as a source of preferential flow in soils. **Hydrology and Earth System Sciences**. V. 13, p. 1133-1144. 2009.

LIMA, W. P.; NICOLIELO, N. Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerrado. **IPEF**, n. 24, p. 43-46, 1983.

LIMA, W.P. **Estudos de alguns aspectos quantitativos e qualitativos do balanço em plantações de eucaliptos e pinus**. 1975. 111f. Tese de Doutorado em Ciência Florestal. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1975.

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C. T.; LEITE, H. G. Precipitação efetiva da chuva em um fragmento florestal com diferentes estágios de regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.4, p.619-627, 2013.

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C. T.; TONELLO, K. C. Escoamento da água da chuva pelo tronco das árvores em uma floresta estacional semidecidual. **Revista Árvore**, Viçosa, v.39, n.3, p.423-430, 2015.

MESSINA, R. **Elaboração e implantação de um modelo de recomposição ciliar às margens da Represa do Lobo, Itirapina, SP**. 1998. 151p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.

MOLINA, A.J.; CAMPO, A.D. The Effects of experimental thinning on throughfall and stemflow: a contribution towards hydrology-oriented silviculture in Aleppo pine plantations. **Forest Ecology and Management**. v.269, p.206–213, 2012.

MOURA, A. E. S. S.; CORREA, M. M.; SILVA, E. R.; FERREIRA, R. L. C.; FIGUEIREDO, A. de C.; POSSAS, J. M. C. Interceptação das chuvas em um fragmento de floresta da Mata Atlântica na bacia do Prata, Recife, PE. **Revista Árvore**, Viçosa, v.33, n.3, p.461-469, 2009.

NALON, M. A.; VELLARDI, A. C. V. Interceptação na floresta secundária das encostas da Serra do Mar, região de Cubatão, SP. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 2., 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo: 1992. Revista do Instituto Florestal, v. 4, p. 894-899. (Edição Especial).

NEAL, C. et al. Hydrological impacts of hardwood plantation in lowland Britain: preliminary findings on interception at a forest edge, Black Wood, Hampshire, Southern England. **Journal of Hydrology**, v.127, n.1/4, p.349-65, 1991.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. C.; DIAS, H. C. T. Precipitação efetiva em fragmento secundário da mata atlântica. **Revista Árvore**, Viçosa. v. 29, n. 1, p. 9-15, Jan./Fev; 2005.

OLIVEIRA, L. L.; COSTA, R. F. da; COSTA, A. C. L. da; SOUSA, F. A. S. de; BRAGA, A. P. Modelagem da interceptação na floresta nacional de caxiuana, no leste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 318-326, Set. 2008.

PINHEIRO, E. S.; DURIGAN, G. Diferenças florísticas e estruturais entre fisionomias do cerrado em Assis, SP, Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n. 1, p.181-193. 2012

SÁ, J. H. M.; CHAFFE, P. L. B.; QUILLET, M. J. J. The influence of the interception process on the precipitation quality in a catchment covered by subtropical Atlantic Forest. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 21, n. 4, p. 742-751, out./dez. 2016.

SHINZATO, E. T.; TONELLO, K. C.; GASPAROTO, E. A. G.; VALENTE, R. O. A. Escoamento pelo tronco em diferentes povoamentos florestais na Floresta Nacional de Ipanema em Iperó, Brasil. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 39, n. 92, p. 395-402, dez. 2011.

STAN II, J. T.; LEVIA JR., D. F. Inter-and intraspecific variation of stemflow production from *Fagus grandifolia* Ehrh. (American beech) and *Liriodendron tulipifera* L. (yellow poplar) in relation to bark microrelief in the eastern United States. **Ecohydrology**, v. 3, p. 11-10. 2010.

TOBON MARIN, C.; BOUTEN, W.; SEVINK, J. Gross rainfall and its partitioning into throughfall, stemflow and evaporation of intercepted water in four forest ecosystems in western Amazonia. **Journal of Hydrology**, v.237, n.1, p.40-57, 2000.

TOGASHI, H. F.; MONTEZUMA, R. C. M.; LEITE, A. F. Precipitação incidente e fluxo de atravessamento das chuvas em três estágios sucessionais de Floresta Atlântica no maciço da Pedra Branca, Rio de Janeiro. **Revista Árvore**, Viçosa, v.36, n.5, p.907-917, 2012.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, vol. 2 n.1 Jan/Jun 1997, p. 135-152.

UBARANA, V.N. Observation and modeline of raifall interception at two experimental sites in Amazônia. **Amazônian deforestation and climate**. p.151-162. 1996.

WALTER, B. N. M.; CARVALHO, A. M.; RIBEIRO, J. F. (2008). O conceito de savanna e de seu componente **Cerrado**. In: SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. (Ed.). Cerrado: ecologia e flora. Planaltina: EMBRAPA-CPAC. P.21-45.

WANG, D.; YATES, S. R.; ERNEST, F. F. Determining soil hydraulic properties using tension infiltrometers, time domain reflectometry, and tensiometers. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n.2, p. 318-325, 1998.

CAPÍTULO 4

INCLUSÃO DE PARÂMETROS HIDROLÓGICOS NA AVALIAÇÃO DA RESTAURAÇÃO FLORESTAL

Resumo: A presença de cobertura vegetal desempenha função reguladora no balanço hídrico através da captação e distribuição da água da chuva dentro dos compartimentos do ecossistema. A crescente interferência humana nos ecossistemas naturais tem gerado ambientes degradados, tornando frágil esta relação e não apresentando os mesmos efeitos. Com a restauração ecológica em áreas degradadas, espera-se que ao longo de seu desenvolvimento, a floresta atue no recebimento e distribuição de água de chuva de forma a torná-la disponível para o solo e por fim, contribuir para o processo de infiltração, percolação, e recarga de aquíferos. Assim, o estudo teve por objetivo monitorar e avaliar o comportamento de parâmetros hidrológicos, de solo e de estrutura da vegetação em áreas florestais em diferentes estágios de restauração por condução da regeneração natural a fim de associá-los ao longo do desenvolvimento de cada idade. Para isso acompanhou ao longo de sete meses os indicadores de estrutura da vegetação, indicadores de solo e os indicadores hidrológicos em três áreas: Tratamento 1 (estágio inicial), Tratamento 2 (estágio intermediário) e Tratamento 3 (estágio avançado). As variáveis foram analisadas segundo análise de variância (ANOVA), Teste Tukey, análise dos principais componentes (PCA) e regressão linear múltipla. Foi possível observar que as variáveis de estrutura da vegetação apresentaram valores crescentes entre os tratamentos, indicando a evolução da sucessão natural com incremento da vegetação arbórea. Houve diferença significativa quanto a resistência à penetração em todos os tratamentos, sendo que no Tratamento 1 tal variável foi muito superior aos demais. Quanto a umidade no solo, o Tratamento 1 obteve os maiores registros, seguido do Tratamento 3, e por fim, o Tratamento 2, com diferença significativa entre Tratamento 1 e 2. Os resultados apresentados no Tratamento 3 podem ser explicados pelo maior número de indivíduos arbóreos realizando transpiração. Pôde-se averiguar que as variáveis de estrutura da vegetação são muito relacionadas entre si e apresentaram relação inversa com as variáveis do solo e a precipitação efetiva (P_e). Foi possível observar que com o avanço da sucessão natural houve incremento nos parâmetros vegetais e melhoria dos parâmetros do solo, por outro lado, os parâmetros hidrológicos mostraram comportamento específico para cada tratamento, indicando que são capazes de responderem ao estado de manutenção e desenvolvimento da vegetação.

Palavras-chaves: Hidrologia Florestal; água do solo; resistência à penetração.

Abstract: The presence of vegetation cover plays a regulatory role not a water balance through the abstraction and distribution of rainwater within the compartments of the ecosystem. Increasing human interference in ecosystems has generated degraded environments, making this relationship fragile and not having the same effects. With ecological restoration in degraded areas, sustainable development for the development, sustainable development and distribution of water, Percolation, and recharge of aquifers. Thus, the study aimed to monitor and evaluate the behavior of hydrological resources, soil and vegetation structure in forest areas in different stages of restoration by conduction of natural regeneration and aim to associate throughout the development of each age. For monitoring of the last seven months, indicators of vegetation structure, soil indicators and hydrological indicators in three areas: Treatment 1 (initial stage), Treatment 2 (intermediate stage) and Treatment 3 (advanced stage). As variables were analyzed by analysis of variance (ANOVA), Tukey test, analysis of the main components (PCA) and

multiple linear regression. It was possible to observe that vegetation structure variables presented increasing values among the treatments, indicating an evolution of the natural succession with increase of the arboreal vegetation. There was a significant difference in the resistance to penetration in all treatments, and no treatment 1 such variable was much higher than the others. When moisture is not the soil, treatment 1 obtained the highest records, followed by treatment 3, and finally, Treatment 2, with significant difference between Treatment 1 and 2. The results are not Treatment 3 can be explained by the greater number of arboreal individuals performing transpiration. It was possible to find out how vegetation structure variables are very related to each other and showed an inverse relationship with soil variables and effective precipitation (Ep). It was possible to observe that with the progression of the natural succession there was an increase in the vegetal parameters and improvement of the soil parameters, on the other hand, the hydrological parameters showed the specific behavior for each treatment, indicating that they are able to respond to the state of maintenance and development of vegetation.

Keywords: Forest Hydrology; soil water; resistance to penetration.

4.1 INTRODUÇÃO

A presença de formações florestais, principalmente as de caráter nativo da região, possibilita o recebimento, repartição e distribuição da água da chuva de maneira equilibrada pelos demais compartimentos do sistema. Pode-se dizer que a cobertura florestal melhora os processos de infiltração, percolação e armazenamento da água, além de diminuir o escoamento superficial e reduzir os processos erosivos, pois a vegetação contribui ao bom estado de agregação do solo, com elevadas quantidades de matéria orgânica, umidade, e conteúdo microbiano ativo (AZEVEDO, 1995; TUCCI e CLARKE, 1997; GONÇALVEZ et al., 2003; SCHWÄRZEL et al., 2012; LORENZON, 2013).

Áreas com ausência de vegetação e em estado de degradação não apresentam os mesmos efeitos sobre o ciclo hidrológico de uma bacia hidrográfica, podendo ocorrer redução da evapotranspiração, infiltração e percolação da água no solo, bem como o aumento de perda de solos, enxurradas, e consequente assoreamento de corpos hídricos, dentre outros efeitos (BRAGA, 1999). Contudo, é crescente a degradação dos ecossistemas naturais, fato que na maior parte das vezes devasta por completo a cobertura vegetal presente em determinadas áreas. (MACHADO et. al., 2004; SANTOS, 2012).

Para Honda (2013), conhecer as características do balanço hídrico, bem como os processos hidrológicos no ecossistema, é fundamental para compreender seu funcionamento, permitindo definir as práticas de manejo mais adequadas e eficazes tanto do ponto de vista ecológico, quanto econômico, dentro da restauração ecológica. No entanto, em relação a este assunto pouco se conhece sobre as influências ecológicas e hidrológicas que as mudanças decorrentes da restauração acarretam, sendo relevante a

compreensão das relações entre a água das chuvas e a vegetação dentre dos diferentes estágios da restauração, pois, em última instância, é desta relação que dependem as reservas de água subterrânea e superficiais de boa parte do país (BOSCH e HEWLETT, 1982; HONDA, 2013).

Com a restauração ecológica em áreas degradadas, espera-se que ao longo de seu desenvolvimento, a floresta atue no recebimento e distribuição de água de chuva de forma a torná-la disponível para o solo e por fim, contribuir para o processo de infiltração, percolação, e recarga de aquíferos. Até o momento, poucos trabalhos buscam incluir a dinâmica hidrológica como fator a ser analisado nas áreas em restauração. Desta forma, não se conhece ao certo em que momento ao longo do desenvolvimento da restauração florestal, há efetiva contribuição para a manutenção da água no solo. O fato é que se observa a falta de estudos quanto à dinâmica hidrológica como uma abordagem na restauração ecológica.

Diante desse contexto, este estudo teve por objetivo monitorar e avaliar o comportamento de parâmetros hidrológicos de solo e de estrutura florestal em diferentes estágios de restauração por condução da regeneração natural, a fim de associá-los ao longo do desenvolvimento de cada idade e responder o seguinte questionamento: Com o desenvolvimento da restauração florestal há melhoria das condições hídricas do solo?

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Área de estudo

A pesquisa foi realizada na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Floresta das Águas Perenes, Brotas - SP, pertencente à empresa International Paper do Brasil Ltda. A RPPN Floresta das Águas Perenes possui 809,78 ha, está inserida no Bioma Cerrado e sua fitofisionomia é caracterizada como vegetação secundária de Cerrado e Cerradão (SECRETARIA DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2013). O clima na região é classificado como Cwa, seguindo a classificação de Köppen, tendo verão úmido e inverno seco, e precipitação média anual entre 1400 e 1500 mm (MESSINA, 1998; CEPAGRI, 2016). O tipo de solo predominante é Neossolo Quartzarênico (ALMEIDA et al., 1981; EMBRAPA, 1999).

A área de estudo, antes ocupada por pastagens, nos últimos 42 anos foi destinada ao cultivo de eucalipto. A partir de 2006, após a colheita de alguns talhões de eucalipto,

iniciou-se o processo de condução de regeneração natural de suas áreas (INTERNATIONAL PAPER, 2013)

O monitoramento dos indicadores da vegetação, indicadores do solo e indicadores hidrológicos foi realizada em três áreas sendo: Tratamento 1 - 4 anos em processo de condução da regeneração natural após corte do eucalipto (estágio inicial), Tratamento 2 - 10 anos em processo de condução da regeneração natural após corte do eucalipto (estágio intermediário) e Tratamento 3 - 43 anos sem perturbação (estágio avançado) (Figura 1 e 2).

Para o monitoramento dos indicadores (Quadro 1), foram estabelecidas três parcelas de 20x20 metros em cada tratamento, com espaçamento de 10 metros entre parcelas.

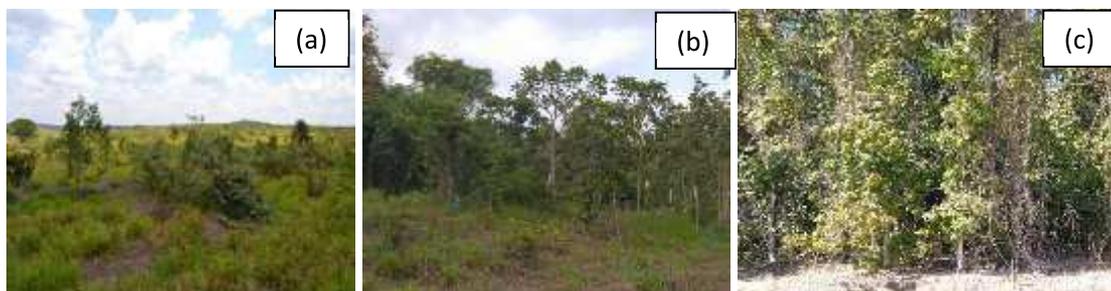


Figura 1. Parcelas de condução de regeneração natural aos (a) 4 anos, (b) 10 anos e (c) 43 anos. RPPN Águas Perenes, Brotas, SP, 2015.

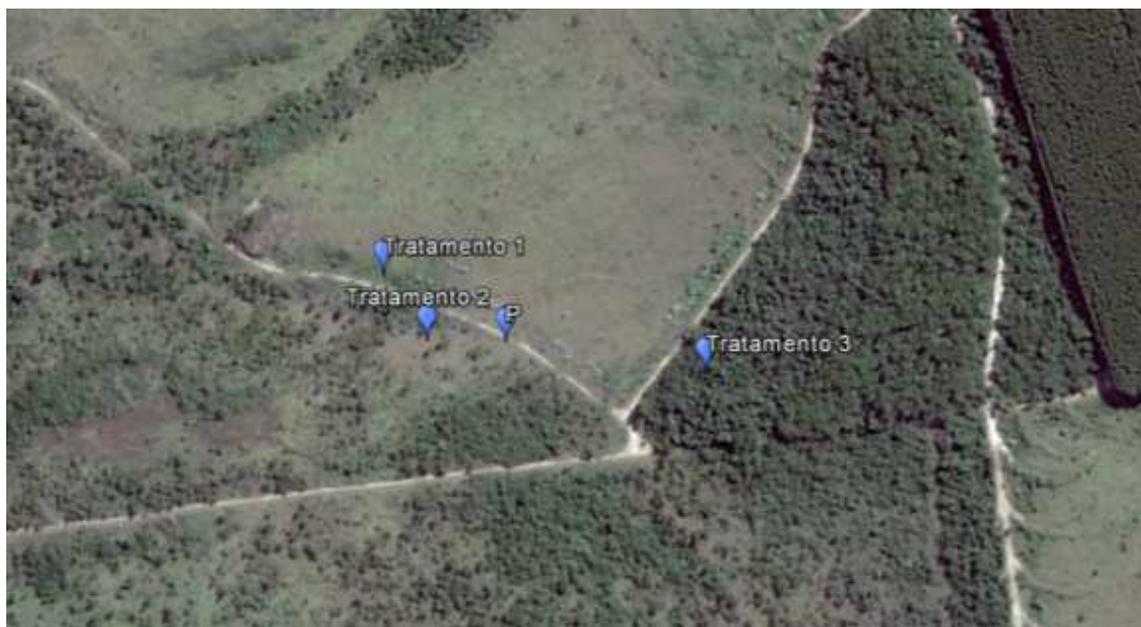


Figura 2. Localização aproximada dos tratamentos, onde 1 refere-se ao tratamento 1, 2, ao tratamento 2, e 3 ao tratamento 3. P corresponde ao local que se encontra instalado o pluviômetro a céu aberto. (GOOGLE EARTH, 2016)

Quadro 1. Componentes e indicadores monitorados na RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas, SP.

Componente	Indicador	Material/Metodologia
Vegetação	Altura dos indivíduos	Trena, Fita métrica.
	Diâmetro do tronco	Paquímetro ou fita métrica
	Luminosidade	Luxímetro – MLM 1011 Minipa
	Densidade	Contagem visual e classificação
Solo	Infiltração de água	Infiltrômetro – Minidisk Decagon
	Resistência a penetração	Penetrômetro - Solotest
	Umidade	Aquaterr T300
Hidrologia	Precipitação efetiva	Pluviômetros para a precipitação interna. Calha de poliuretano para o escoamento pelo tronco.
	Interceptação	Cálculo da diferença entre a Precipitação a céu aberto e a Precipitação efetiva.

4.2.2 Indicadores de estrutura da vegetação e solo

Em cada tratamento, foram amostrados todos os indivíduos com diâmetro a altura do peito (DAP) > 5 cm, para os quais foram anotadas suas medidas de DAP e altura total, bem como coletado material botânico para identificação.

Para a medição da luminosidade no interior de cada tratamento, foram realizadas nove medições em pontos aleatórios com o aparelho posicionado na direção norte e a um metro de altura do solo. As medições ocorreram entre 10 e 12 horas da manhã. Também foi registrada a luminosidade absoluta, com uma repetição para cada tratamento, tendo sido registrada a céu aberto, a fim de eliminar interceptações. Foi obtido o Índice Relativo de Luz (IRL), o qual consiste na média aritmética da luminosidade para cada tratamento, dividido pelo valor de luminosidade a céu aberto, e multiplicado por 100. Desta forma, foi possível inferir sobre a porcentagem de luz que penetra a vegetação em cada tratamento, e assim, relacionar com a densidade de cobertura do dossel.

Para infiltração da água no solo foram feitas nove medições para cada tratamento, cada medição consistiu em seis repetições com tempo de infiltração de 30 segundos, com ajuste da taxa de sucção em 2 cm. Os dados registrados em campo foram digitalizados em tabela de dados específica. Nesta tabela, os dados foram convertidos para velocidade de infiltração, em mm/h. Com isso, calculou-se a média da velocidade de infiltração para cada tratamento.

A resistência à penetração foi obtida pela média de nove pontos aleatórios, para cada tratamento. A resistência à penetração (qc em Kgf/cm^2) foi obtida dividindo-se a carga de penetração (em kgf) pela área da base do cone (em cm^2). Como o diâmetro da base do cone é 28,4 mm, a área da base do cone é $6,33 cm^2$.

Para a umidade do solo foram realizadas 9 medições em pontos aleatórios em cada tratamento. O equipamento utilizado fornece a umidade em porcentagem, onde posteriormente, foi realizada a média dos dados para cada tratamento.

A altura dos indivíduos e diâmetro do tronco foram obtidos em janeiro de 2016. Luminosidade, Cobertura do solo, Infiltração, e Resistência à penetração foram registrados simultaneamente, de fevereiro a setembro de 2016, entre as parcelas, tendo em vista que dentro das mesmas estavam instalados os coletores de escoamento pelo tronco e precipitação, o que poderia interferir na quantidade de água que alcança o solo a cada evento de chuva.

4.2.3 Indicadores hidrológicos

O monitoramento da precipitação efetiva e interceptação teve início no mês de dezembro de 2015 e término em novembro de 2016, completando um ano de coleta de dados.

Os pluviômetros utilizados na pesquisa foram confeccionados a partir de tubos e conexões de pvc com diâmetro de 78,5 cm e altura de 20 cm, correspondendo à um volume máximo de armazenamento de 1,5 litros. Ao todo, foram instalados 109 pluviômetros, sendo 12 pluviômetros no interior de cada parcela dos tratamentos e 1 pluviômetro a céu aberto.

A precipitação efetiva (Pe), corresponde ao somatório da água escoada pelos troncos e a precipitação interna em cada formação florestal. Tendo seu cálculo realizado por:

$$Pe = Pi + Et$$

Sendo, Pe a precipitação efetiva (mm), Pi a precipitação interna (mm) e Et o escoamento pelo tronco (mm).

A precipitação interna correspondente a cada tratamento foi obtida através da fórmula:

$$Pi = \sum_{i=1}^n \left[\left(\frac{V}{A} \right) * 10 \right] / ni$$

Sendo, Pi a precipitação interna (mm), V o volume de cada coletor (ml), A a área de captação de cada coletor (cm^2) e ni o número de pluviômetros.

A quantificação do escoamento pelo tronco foi realizada em todas as árvores com circunferência altura do peito (CAP) >15cm, por meio de uma calha confeccionada a partir de espuma de poliuretano, com a função de conduzir a água escoada pelos troncos

para coletores de 20 litros. Ao todo, foram selecionadas 184 árvores e instalados 210 coletores. Para o cálculo do Escoamento pelo tronco (Et), usou-se:

$$Et = \left(\frac{Vt}{A}\right)$$

Sendo, Et o escoamento pelo tronco (mm), Vt o volume total em litros (L) e A a área da parcela (m²).

As leituras foram realizadas com auxílio de baldes e provetas graduadas, após um ou mais eventos de chuva, tomando-se o cuidado para que não se passasse muito tempo entre o término das precipitações e as leituras.

Por fim, a interceptação (I) foi obtida a partir da diferença entre a precipitação em aberto e a precipitação efetiva em cada tratamento. Sendo:

$$I = Pa - Pe$$

Onde, I é a interceptação (mm), Pa a precipitação em aberto (mm) e Pe a precipitação efetiva (mm).

4.2.4 Análise estatística

Os parâmetros hidrológicos foram analisados comparativamente aos parâmetros de estrutura da vegetação e de solo, possibilitando o conhecimento de possíveis relações hidrológicas de acordo com a estrutura de cada tratamento e entre eles, de forma a identificar possíveis tendências quanto a sua contribuição conforme a sucessão ecológica.

As variáveis resistência à penetração, umidade e infiltração tiveram comportamento analisado em cada tratamento. Para isso foi realizada Análise de Variância (ANOVA) e Teste Tukey para averiguar diferenças significativas entre os tratamentos, com nível de confiança de 95%.

O software R 3.1.3 foi utilizado para a realização das análises estatísticas. Inicialmente os dados foram padronizados para evitar erros e possibilitar comparações.

A fim de conhecer a relação entre as variáveis hidrológicas e de estrutura da vegetação e solo, foi elaborada a Matriz de Covariância e em seguida realizada a Análise dos Principais Componentes (PCA) para as variáveis independentes e variáveis respostas. Neste trabalho, as variáveis independentes correspondem a altura média (m), diâmetro médio (cm), densidade (ind./m²) e precipitação em aberto (Pa) (mm), sendo as variáveis respostas a velocidade de infiltração (mm/h), resistência à penetração (MPa), umidade (%), precipitação efetiva (Pe) (mm) e interceptação (I) (mm). Após a seleção das novas variáveis foi aplicada regressão múltipla.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível observar que as variáveis de estrutura da vegetação apresentaram valores crescentes entre os tratamentos, indicando a evolução da sucessão natural com incremento da vegetação arbórea. Como consequência a estas variáveis, o IRL foi decrescente do Tratamento 1 ao 3 (Quadro 2).

No Tratamento 1 a resistência à penetração no solo foi 150% superior aos demais tratamentos, registrando seus menores valores nos meses que apresentaram precipitação em aberto (Pa) acima de 112 mm, com exceção do mês de maio. Os maiores valores ocorreram nos meses com menores precipitações (Quadro 2). No Tratamento 2, a resistência a penetração foi inferior ao Tratamento 1, e apresentou baixa variação entre as coletas de dados. O mesmo foi observado no Tratamento 3 (Figura 3).

Quadro 2: Valores dos indicadores de vegetação, indicadores de solo, e indicadores hidrológicos para os Tratamentos 1, 2 e 3. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas – SP. Período de fevereiro à setembro de 2016.

	Altura média (m)	Diâmetro médio (cm)	Densidade (ind./m²)	IRL (%)	Resistência à penetração (MPa)	Umidade (%)	Velocidade de infiltração (mm/h)	Pe (mm)	I (mm)	Pa (mm)	
TRATAMENTO 1	Fev.			100	0,4 ±0,2	72 ±7,0	227,5 ±86,3	199,1	0,9	200	
	Mar.			100	0,2 ±0,1	77 ±11,0	188,0 ±70,0	167,9	1,8	170	
	Abr.			100	0,7 ±0,3	74 ±11,0	54,0 ±54,0	0,0	0,0	0	
	Mai.	2,13 ±0,1	6,4 ±0,9	0,003	100	0,9 ±0,1	83 ±8,0	200,0 ±132,0	139,3	0,0	139
	Jun.				100	0,1 ±0,09	90 ±6,0	92,2 ±105	111,5	0,6	112
	Jul.				100	0,7 ±0,3	58 ±16,0	194,0 ±304,2	3,0	0,2	3
	Ago.				100	0,5 ±0,2	70 ±8,0	106,6 ±54,0	27,5	0,5	28
	Set.				100	0,8 ±0,3	68 ±16,0	39,5 ±33,2	19,0	0,1	19
				Média	100	0,5 ±0,3	74 ±11,0	138,0 ±91,0	83,4	0,5	84
TRATAMENTO 2	Fev.			67	0,3 ±0,1	67 ±13,5	458,7 ±358,0	199,0	1,0	200	
	Mar.			82	0,2 ±0,1	55 ±33,5	330,5 ±202,9	159,5	10,3	170	
	Abr.			96	0,3 ±0,2	31 ±7,2	65,0 ±65,5	0,0	0,0	0	
	Mai.	3 ±0,7	9,2 ±2,2	0,020	81	0,2 ±0,1	57 ±10,4	226,3 ±154,8	121,2	17,7	139
	Jun.				87	0,05 ±0,07	66 ±5,0	190,4 ±321,9	98,7	13,4	112
	Jul.				87	0,2 ±0,1	36 ±6,3	14,4 ±8,8	2,8	0,4	3
	Ago.				83	0,1 ±0,09	37 ±14,2	134,0 ±99,5	25,7	2,3	28
	Set.				72	0,1 ±0,08	28 ±8,0	32,3 ±30,5	19,1	0,0	19
				Média	82	0,2 ±0,1	48 ±17,0	209,1 ±195,3	78,2	5,6	84
TRATAMEN	Fev.			10	0,2 ±0,1	75 ±2,4	344,8 ±207,3	182,5	182,5	200	
	Mar.			1	0,1 ±0,2	-	295,8 ±106,7	132,5	132,5	170	
	Abr.			6	0,3 ±0,1	54 ±14,3	10,8 ±0	0,0	0,0	0	

Mai.				2	0,3 ±0,07	67 ±6,0	251,5 ±238,0	112,4	112,4	139
Jun.	8 ±2,8	11 ±3,9	0,123	1	0,3 ±0,1	57 ±10,1	20,0 ±13,1	97,9	97,9	112
Jul.				11	0,2 ±0,1	47 ±7,0	36,4 ±22,3	2,2	2,2	3
Ago.				1	0,2 ±0,07	60 ±6,1	161,7 ±140,6	21,4	21,4	28
Set.				4	0,1 ±0,06	41 ±11,0	58,2 ±78,0	17,0	17,0	19
			Média	5	0,2 ±0,1	57 ±11,3	176,6 ±151,7	70,7	13,1	84

A ANOVA juntamente com o Teste Tukey mostrou diferença significativa entre todos os tratamentos com nível de confiança de 95%.

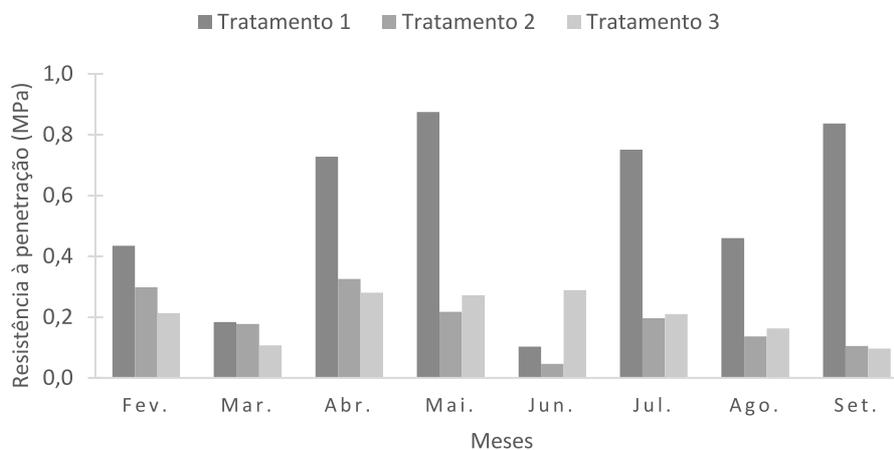


Figura 3. Comparação da resistência a penetração (MPa) obtida em cada medição para os Tratamentos 1, 2 e 3 no período de fevereiro a setembro de 2016, na RPPN Floresta das Água Perenes, Brotas, São Paulo.

A importância de se avaliar a resistência à penetração de um determinado solo consiste no fato de que a compactação reduz a aeração do mesmo afetando a infiltração e condutividade hidráulica por suas camadas, diminuindo a disponibilidade hídrica e de nutrientes às plantas e dificultando o crescimento das raízes, além de promover alterações nos processos químicos e biológicos do solo, dentre outros problemas (LETEY, 1985; CAMARGO e ALLEONI, 1997). Notou-se que o Tratamento 1, quase que na totalidade de suas medições, apresentou resistência de penetração elevada e a velocidade de infiltração reduzida, indicando uma possível ação da compactação na penetração de água no solo (Quadro 2).

Um fator relacionado à resistência a penetração são os diferentes sistemas de manejo que podem resultar em maior ou menor compactação do solo (POGGIANI, 1996; TAVARES FILHO et al., 2001). Pelo histórico de uso e ocupação da área de estudo, sabe-se que o Tratamento 1 é o mais jovem em processo de condução da regeneração natural. Anteriormente, por mais de 40 anos, o local foi destinado ao plantio de eucalipto estando sujeito à compactação periódica dos maquinários utilizados nas colheitas, o que vem a refletir nos valores de resistência à penetração.

Apesar das elevadas resistências aferidas no Tratamento 1, nenhum tratamento apresentou resistência à penetração superior a 0,9 MPa, tendo em vista que estudos indicam que resistências à penetração acima de 2,5 MPa são capazes de dificultar a

penetração e o desenvolvimento radicular de espécies arbóreas (SANDS et al., 1979; GREACEN e SANDS, 1980).

As diferenças obtidas entre os tratamentos podem estar relacionadas ao estágio sucessional a qual cada um pertence. Estudos mostram que os valores obtidos neste trabalho estão dentro do esperado para áreas de Cerrado e em processo de regeneração natural. Beutler et al. (2001), por exemplo, estudando uma área de Cerrado e outros quatro sistemas de manejo, constatou que o solo sob vegetação nativa possui menor resistividade (0,2 MPa) que os demais ($< 1,4$ MPa). Campos e Alves (2006), estudaram área de mata nativa de Cerrado juntamente com áreas em estágio avançado de degradação e áreas em regeneração após plantio, e obtiveram valores menores de resistência à penetração em mata nativa (0,72 MPa), seguido da área em regeneração (2,38 MPa) e valores superior para área em avançada degradação (5,92 MPa).

Outro estudo relevante para este trabalho é o realizado por Cardoso et al. (2010) que avaliaram a alteração da resistência do solo à penetração em função da alteração de vegetação nativa em pastagem, conciliando com o teor de umidade do solo. Os autores observaram que a resistência à penetração em Cerrado foi a menor (0,7 MPa) comparada a mata semidecídua (1 MPa) e pastagem (1 e 1,7 MPa). Já o teor de umidade do solo foi mais elevado em pastagem (entre 0,01 e 0,04 kg kg^{-1}), seguido de cerrado (entre 0,01 e 0,03 kg kg^{-1}), e mata semidecídua (entre 0,02 e 0,035 kg kg^{-1}). O comportamento das variáveis para profundidades até 40 cm mostrou que em mata semidecídua a resistência à penetração tende a aumentar com a profundidade, ao contrário da umidade que tende a diminuir. A mesma tendência foi observada para pastagem de 27 anos. Em cerrado, no geral, a resistência á penetração e a umidade tendem a aumentam com a profundidade (CARDOSO et al., 2010).

Além das características intrínsecas do solo, a umidade, segundo Gomes e Peña (1996) também está relacionada à sua resistividade. Quando se tem baixa umidade, a água possui maior tensão nos poros do solo, que, somada as forças de coesão e adesão dos sólidos presentes, resulta em maior resistência de penetração (QUANG et al., 2012). Quando se tem o contrário, um solo com maior teor de água, tais forças são minimizadas, o que diminui a resistência de penetração e facilita o desenvolvimento das raízes (CUNHA et al., 2002). Contudo, tal relação não pôde ser observada entre os tratamentos, pois a exemplo do citado acima, o tratamento que registrou maiores resistências à penetração também se mostrou com os maiores índices de umidade. Tal comportamento poderia ser justificado pelo fato das medições terem sido realizadas nos primeiros 10 centímetros do solo. Ou seja, a umidade e a resistência à penetração das camadas mais

profundas não foram registradas, podendo assim, as mesmas serem semelhantes ao comportamento observado por Cardoso et al. (2010) e Quang et al. (2012).

Apesar desta aparente incompatibilidade, quando observados os tratamentos individualmente, notou-se uma tendência no comportamento da resistência à penetração com relação à umidade. No Tratamento 1, exceto para os meses de fevereiro e setembro, foi possível observar relação inversa entre as variáveis, indicando maiores registros de resistências à penetração quando se teve menores valores de umidade. Para os Tratamentos 2 e 3 este comportamento só não foi observado nos meses de fevereiro, abril e maio, e fevereiro, junho e setembro, respectivamente. Porém, estatisticamente a relação não foi significativa.

Segundo Leite et al. (1997) a zona do solo hidrológicamente mais ativa corresponde às camadas superficiais até 135 cm, onde aproximadamente 60% das variações de umidade ocorrem. A umidade do solo exerce influência na formação do escoamento superficial, na transpiração de plantas e evaporação do solo, sendo um dos elementos mais importantes no controle dos processos hidrológicos (ÁVILA et al, 2010). Quando comparada a porcentagem de umidade no solo de cada tratamento, notou-se que o Tratamento 1, obteve os maiores registros, seguido do Tratamento 3, e por fim, o Tratamento 2 (Figura 4). Estatisticamente houve diferença significativa, com 95% de confiança, entre os valores de umidade dos Tratamento 1 e 2.

O fato de o Tratamento 3 não ter sido o que registrou maior umidade, pode ser explicado pelo maior número de indivíduos arbóreos presentes realizando o processo de transpiração, onde as raízes das árvores absorvem água e nutrientes do solo para o processo de evapotranspiração. Logo, a redução da densidade populacional tende a aumentar o conteúdo de água (LEITE et al., 1997).

Outro aspecto a ser considerado é a presença de serapilheira no Tratamento 3, a qual pode reduzir a disponibilidade de água no solo, uma vez que retém parte da chuva que chegaria à ele. Contudo, a umidade no Tratamento 3 ainda é maior que no Tratamento 2, indicando a atuação do dossel florestal e também da serapilheira como barramento à evaporação de água presente no solo (FACELLI & PICKETT 1991; JENNINGS et al., 1999).

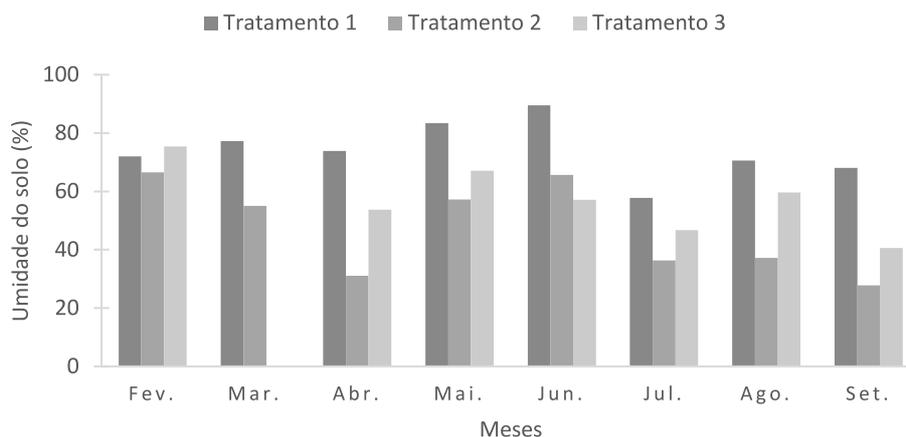


Figura 4. Comparação da umidade do solo (%) obtida em cada medição para os Tratamentos 1, 2 e 3 no período de fevereiro a setembro de 2016, na RPPN Floresta das Água Perenes, Brotas, São Paulo.

Os valores de umidade elevados no Tratamento 1 possivelmente sofreram influência do orvalho e da cobertura do solo por uma espessa camada de gramínea, a qual atuou como barreira para a perda de água. Nos primeiros meses de coleta de dados as aferições de umidade no Tratamento 1 foram realizadas entre 8:00 e 8:30 da manhã, a partir de julho, para evitar possíveis erros decorrentes da presença de orvalho, as medições passaram a ocorrer após as 11:00 da manhã. Contudo os valores de umidade no referido tratamento mantiveram-se superiores aos demais, o que provavelmente está relacionada com a gramínea presente.

Em estudo realizado por Ávila et al. (2010) e em outro realizado por Gomes et al. (2007), algumas áreas de pastagem apresentaram valores de umidade mais elevados no período de inverno, fato explicado pelo regime hídrico do período e pelas características da vegetação. Uma vez que no inverno as chuvas são de baixa intensidade, aliado a baixa interceptação realizada pelas pastagens, estes fatores possibilitam que o solo tenha maior contato com a chuva e conseqüentemente, resultem em maior umidade. Por sua vez, Leite et al., (1997) observaram que a umidade no solo foi maior em área com eucalipto e pastagem do que em floresta nativa. Além disso, a taxa de recarga de água no solo foi maior na área de pastagem, seguida de eucalipto e floresta nativa. Tal comportamento, segundo os autores, está relacionado com as atividades fisiológicas da vegetação e a precipitação interna dentro de cada situação, sendo que as maiores interceptações (floresta nativa > eucalipto > pastagem) influenciaram na quantidade de precipitação efetiva que por sua vez contribuiu para a redução da recarga de água no solo.

Neste mesmo sentido, Bruno (2004) observou que o perfil vertical de umidade do solo sob clareira é muito mais elevado do que sob floresta não perturbada e em ambiente

de Cerrado *Sensu stricto*, e temporalmente mais homogêneo, sobretudo abaixo dos 3 m de profundidade. Essa grande diferença entre as umidades sob cada área indica que a distribuição e a condição de umidade no solo é fortemente influenciada pela vegetação existente na superfície.

Similarmente ao estudado pelos autores, as camadas de gramíneas que cobrem o solo nos Tratamento 1 podem ter permitido o maior contato do orvalho e da chuva com o solo e, com o passar do tempo, atuado na manutenção da umidade em suas primeiras camadas. Aliado a isto, a presença de cobertura vegetal presente nos Tratamentos 2 e 3 podem ter atuado no barramento da chuva influenciando a quantidade de água que chegou ao solo. Estudos indicam que conforme o aumento da profundidade do solo, a umidade tende a aumentar, (HAN et al., 2006; QUANG et al, 2012) desta forma, seria recomendado o estudo de tal parâmetro ao longo de várias profundidades.

É importante conhecer a dinâmica da água em um determinado ambiente pois este é um processo contínuo que influencia os processos de formação e evolução dos solos, na disponibilidade de nutrientes e demanda hídrica, tanto para a vegetação quanto aos seres humanos. Assim, o movimento de infiltração é descrito pela taxa (velocidade) de infiltração e pela condutividade hidráulica, esta última representa a facilidade que a água tem para percolar em determinado solo (WANG et al., 1998; MACIEL NETO et al., 2000).

De modo a caracterizar o comportamento e dinâmica da água no solo nos três tratamentos, a velocidade de infiltração foi monitorada (Figura 5). Apesar das diferenças aparentes nos valores de velocidade de infiltração, estatisticamente esta variável não apresentou diferenças significativas entre os tratamentos.

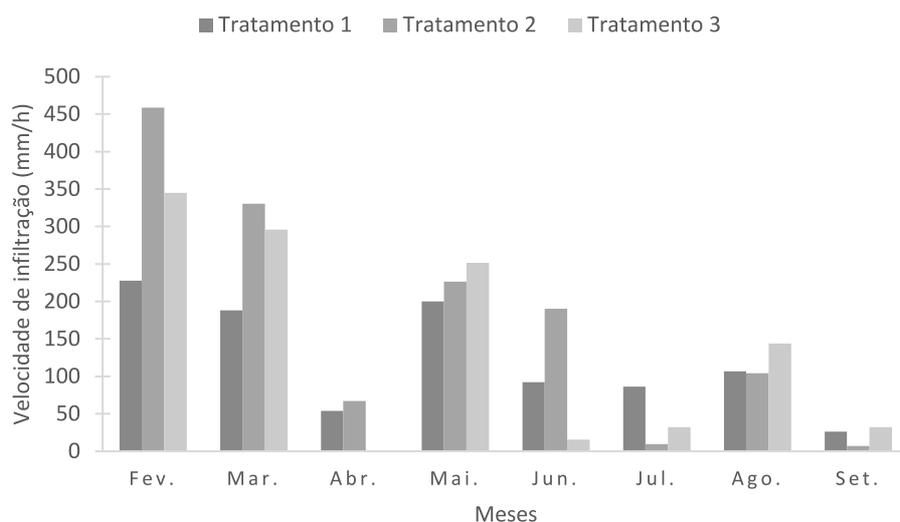


Figura 5. Comparação da velocidade de infiltração no solo (mm/h) obtida em cada medição para os Tratamentos 1, 2 e 3 no período de fevereiro a setembro de 2016, na RPPN Floresta das Água Perenes, Brotas, São Paulo.

A velocidade (taxa) de infiltração consiste na quantidade de água que atravessa a superfície do solo e é expressa em altura da lamina d'água por uma unidade de tempo, por exemplo mm/h (COSTA et al., 1999). Os dados registrados para este estudo mostraram que as velocidades de infiltração para os três tratamentos foram maiores nos meses que registraram as maiores precipitações em aberto (Pa) (Quadro 2), nos demais meses, com valores de Pa abaixo de 84 mm, as taxas de infiltração acompanharam tal redução. No geral, os Tratamentos 2 e 3 apresentaram as maiores velocidades de infiltração, comportamento esperado tendo em vista a presença da vegetação atuando na melhoria das qualidades físicas do solo.

Os fatores que influenciam a infiltração da água no solo são vários, podendo-se destacar o tipo de solo, o qual possui relação direta com a porosidade e tamanho das partículas do solo; umidade inicial do solo, sendo a capacidade de infiltração maior quanto mais seco o solo estiver; compactação, onde quanto mais compactado o solo maior sua impermeabilidade, diminuindo então a infiltração; a cobertura vegetal, pois atenua processos erosivos e de compactação, e facilita a atividade de insetos e demais microrganismos, aumentando a aeração do solo, e assim a capacidade de infiltração, dentre outros (CARDURO e DORFMAN, 1988; COSTA et al., 1999; BERTOL et al., 2001; SOUZA e ALVEZ, 2003). Foi possível observar que a velocidade de infiltração apresentou comportamento inverso a resistência à penetração, ou seja, nos tratamentos que obtiveram menores valores de resistência à penetração, os registros de velocidade de infiltração foram maiores, e vice-versa, o que pode ser explicado pela maior presença de

vegetação e cobertura do solo, indicando que os tratamentos estão sofrendo modificações decorrentes do avanço da regeneração.

Estudo realizado por Souza e Alves (2003), avaliou a velocidade de infiltração em fragmento de Cerrado e mais cinco tipos de manejo, dentre eles, a pastagem. Os autores obtiveram a maior taxa de infiltração no Cerrado (330 mm/h) e para a área de pastagem a menor taxa (190 mm/h). Estes valores são semelhantes aos registrados nos meses de fevereiro e março de monitoramento quando comparados aos Tratamentos 3 e 1, respectivamente. Contudo, as velocidades de infiltração decaíram ao longo dos meses de março à setembro.

Após a análise individual das variáveis frente a cada tratamento, buscou-se uma análise integradora da hidrologia da floresta e solo. Assim, a covariância expressa o grau de interdependência numérica entre duas variáveis, desta forma através da matriz de covariância foi possível realizar uma primeira análise sobre quais variáveis de estudo estão mais relacionadas. Pôde-se averiguar que as variáveis de estrutura da vegetação são muito relacionadas entre si e apresentaram relação inversa com as variáveis do solo e a precipitação efetiva (P_e). Estes indicativos de interdependência são condizentes ao observado em campo, onde o comportamento, principalmente, da resistência a penetração e umidade do solo foram mais elevados nos tratamentos onde se tinham baixos valores de altura, diâmetro e densidade de vegetação e vice-versa. Com relação ao observado frente a precipitação efetiva (P_e), de fato, quando se teve maiores valores para as variáveis estruturais P_e foi menor, refletindo a interceptação promovida pela vegetação.

A precipitação em aberto (P_a) mostrou-se muito relacionada com a precipitação efetiva e velocidade de infiltração, as relações indicadas também puderam ser observadas em campo. A matriz de covariância confirmou a inexistência de relação entre P_a e as variáveis de estrutura da vegetação, uma vez que P_a por ser uma variável meteorológica não possui qualquer relação com os aspectos da vegetação.

Sobre a velocidade de infiltração, esta relaciona-se com P_a e P_e , pois quando se tem maior quantidade de água no solo, através de P_a e P_e , a velocidade de infiltração torna-se presente. Interessante destacar que a matriz de covariância confirmou a relação inversa entre velocidade de infiltração e resistência a penetração, já que em solos mais resistentes a penetração e compactados a infiltração de água é dificultada.

Já a resistência a penetração obteve relação inversa com todas as variáveis, exceto umidade, e valores não muito elevados de covariância. Mostrou que possui maior relação com o diâmetro médio. Ou seja, a relação inversa mostra que quando o diâmetro médio

se eleva, a resistência a penetração do solo diminui, indicando que as variáveis de estrutura da vegetação podem favorecer as condições do solo, principalmente as relacionadas à compactação.

Com a umidade, as variáveis mais relacionadas são Pa e Pe, sendo que esta variável mostrou relação inversa com as variáveis da estrutura da vegetação, o que pode ser explicado pelos processos fisiológicos das plantas. Por fim, a variável interceptação está muito relacionada com a altura média e a densidade média da vegetação, fato que corrobora ao observado em campo e em outros estudos, já que a interceptação é proveniente do barramento promovido pela vegetação.

Percebe-se que cada tratamento, com seus diferentes estágios de sucessão natural, difere em relação à morfologia dos indivíduos arbóreos, afetando as características do solo e dos processos hidrológicos (WISCHMEIER e SMITH, 1978; BERTOL et al., 2014).

Dentre os efeitos causados no solo pela presença da vegetação tem-se o aporte de matéria orgânica, aumento da capacidade de absorção e infiltração de água, e conservação da umidade, os quais contribuem para a redução da erosão e estimula atividades biológicas (MUSCHLER, 2000; BARBERA-CASTILLO, 2001). Assim, pôde-se notar que, de fato a vegetação influenciou em alguns aspectos do solo. Além disso, o crescimento e o desenvolvimento da vegetação contribuíram com a redistribuição da precipitação.

Através da interceptação promovida pelo dossel, o solo é preservado dos impactos das gotas da chuva, onde tomará novos caminhos até o solo e, aliado às demais características já citadas, poderá infiltrar e realimentar o lençol freático e as necessidades fisiológicas das plantas (CORREIA et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2008; MENDONÇA et al., 2009).

Ao realizar a Análise dos Principais Componentes (PCA) as variáveis foram reagrupadas em eixos, onde as que apresentaram eigenvalues acima de 1 formaram o conjunto das principais variáveis que melhor explicam o conjunto de dados (Quadro 3).

Quadro 3: Valores de importância para os eixos fornecidos pela PCA. Valores fornecidos pelo software R.

IMPORTÂNCIA DOS COMPONENTES								
	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6	PC7	PC8
Eigenvalue	3,6688	3,3068	1,0819	0,4210	0,2892	0,1841	0,0369	0,0023
Proporção explicada	0,4077	0,3674	0,1202	0,0478	0,0321	0,0205	0,0041	0,0003
Proporção acumulada	0,4077	0,7751	0,8953	0,9430	0,9752	0,9956	0,9997	1

Os resultados da PCA indicaram que interceptação (I), diâmetro médio, densidade média e altura média explicam 40,77% dos dados de acordo com o PC1, com valores de correlação entre de 0,8 e 0,89. Umidade, velocidade de infiltração, Pa e Pe explicam 36,74% dos dados segundo PC2, com valores de correlação entre 0,76 e 0,92. Já umidade e resistência à penetração, segundo PC3, explicam 12% dos dados, com respectivos valores de correlação, -0,5 e -0,69. Somando-se PC1, PC2 e PC3, os dados são explicados 89,51% pelas variáveis representadas por tais eixos (Quadro 3).

A partir da análise gráfica, pelo eixo PC1 foi possível interpretar que as variáveis resistência a penetração e umidade possuem relação inversa com as demais, ao passo que, observando-se o eixo PC2, as variáveis do solo e pluviométricas (Pa e Pe) são inversamente correlacionadas com as variáveis da vegetação e a interceptação, endossando a relação vegetação – água – solo. Ao contrário do que se esperava com a PCA, o número de variáveis não foi reduzido, demonstrando que todas as variáveis são importantes para, de alguma forma, explicar o conjunto de dados.

Por fim, os dados foram submetidos à regressão linear múltipla, onde foi possível testar a significância do modelo matemático e também das variáveis perante o modelo. De modo geral o modelo foi significativo, porém, a única variável que apresentou significância dentro do nível de confiança de 95% para responder às variáveis dependentes foi a precipitação em aberto (Pa). Desta forma tem-se que I, Pe, velocidade de infiltração, resistência à penetração e umidade estão em função da Pa, com a seguinte equação:

$$Pa = -97,264 * Vinf + 1,064 * R + 90,229 * U - 7,1089Pe - 23,412I \pm \varepsilon$$

Onde Pa corresponde à precipitação em aberto em mm, Vinf em mm/h, R à resistência à penetração em MPa, U à umidade do solo em %, Pe à precipitação efetiva em mm e I à interceptação em mm.

Assim como observado por Nijzink et al (2016), embora os efeitos das mudanças de uso da terra sobre o funcionamento hidrológico sejam conhecidos e amplamente abordados, questões como quais as partes do sistema hidrológico são afetadas, e de que maneira e sobre quais escalas de tempo ainda são pouco compreendidas. Nesta perspectiva, este estudo notou tendências na melhoria da qualidade do solo sob o avanço da regeneração natural entre as idades de 4, 10 e 43 anos, sendo possível atrelá-las ao comportamento dos parâmetros hidrológicos de cada idade.

4.4 CONCLUSÃO

Os resultados encontrados no presente estudo permitiram relacionar os parâmetros hidrológicos aos de solo e vegetação. Pode-se dizer que com o avanço da sucessão natural houve incremento nos parâmetros vegetacionais, os quais influenciaram na qualidade do solo através do aporte de matéria orgânica, manutenção da umidade, redução da compactação e facilitação da infiltração. Por outro lado, os parâmetros hidrológicos mostraram comportamento específico para cada tratamento, indicando que são capazes de responder ao estado de manutenção e desenvolvimento da vegetação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, C.F.L., OLIVEIRA, J.B. & PRADO, H. **Levantamento pedológico semidetalhado do estado de São Paulo**: quadrícula de Brotas 1. Mapa de solos. Instituto Agronômico de Campinas, Campinas. 1981.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R.; SILVA, A. M. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em bacia hidrográfica da Serra da Mantiqueira. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.12, p.1257–1266, 2010.

AZEVEDO, E. C. **Vazão e características físicas do deflúvio de microbacias hidrográficas cobertas com mata nativa, pastagem, e *Eucalyptus grandis***. 1995. 92 p. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

BARBERA-CASTILLO, N.M. **Diversidad de especies de hormigas en sistemas agroforestales contrastantes de café, em Turrialba, Costa Rica**. 2001. 99 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, Turrialba, Costa Rica. 2001.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.3, p.555-560, 2001.

BERTOL, I.; RAMOS, R. R.; BARBOSA, F. T.; RAMOS, J. C.; BANDEIRA, D. H.; TANAKA, M. S. Hydrological processes obtained on the plot scale under four simulated rainfall tests during the cycle of different crop systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 38:599-607, 2014.

BEUTLER, A. N. et al. Resistência à penetração e permeabilidade de latossolo vermelho distrófico típico sob sistemas de manejo na região dos cerrados(1) **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 25:167-177, 2001.

BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D. (1982). A Review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. **Journal of Hydrology**, v. 55,

BRAGA, R. A. P. **A água e a mata atlântica. Anais do VII Seminário Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica**. Ilhéus, CNRBMA, p. 1-10, 1999.

BRUNO, R. D. **Variabilidade observada da umidade do solo em floresta tropical e cerrado**. 2004. 179 p. Dissertação (mestrado) para obtenção do título de Mestre em Meteorologia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

CAMARGO, O.A. de.; ALLEONI, L.R.F. **Compactação do solo e o desenvolvimento das plantas**. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1997. 132 p.

CAMPOS, F. da S.; ALVES, M. C. Resistência à penetração de um solo em recuperação sob sistemas agrossilvopastoris. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.10, n.3, p.759–764, 2006.

CARDOSO, E. L.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F. Resistência do solo à penetração sob vegetação nativa e pastagem cultivada no pantanal Sul-Mato-Grossense. 5º Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal. **Anais..** Corumbá – MS, novembro de 2010. Acesso em 24 de jan. de 2016. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/25088/1/sp17291.pdf>>.

CARDURO, F.A.; DORFMAN, R. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem**. Brasília: PRONI/MA, 1988. 216p.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS A AGRICULTURA – CEPAGRI. Dados meteorológicos. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/index.html>>. Acesso em 23 de mai. de 2016

CORREIA, F. W. S.; ALVALÁ, R. C. S.; MANZI, A. O.; GIELOW, R.; KUBOTA, P. Y. Calibration of the simplified simple biosphere model (SSiB) for Amazonian pasture and forest sites using LBA data. **Acta Amazonica**, v.35, p.273-288, 2005.

COSTA, E. L.; SILVA, A. M.; COLOMBO, A.; ABREU, A. R. Infiltração de água em solo, determinada por simulador de chuvas e pelo método dos anéis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.3, n.2, p.131-134, 1999.

CUNHA, J.P.A.R. da; VIEIRA, L.B.; MAGALHÃES, A.C. **Resistência mecânica do solo à penetração sob diferentes densidades e teores de água**. Engenharia na Agricultura, Viçosa, v.10, n.1-4, p.1-7, 2002.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

FACELLI, J. M. & PICKETT, S. T. A. 1991. Plant litter: its dynamics and effects on plant community structure. **The Botanical Review**, 57(1): 1-32.

Gomes, N. M.; Faria, M. A. de; Silva, A. M.; Mello, C. R. de; Viola, M. R. Variabilidade espacial de atributos físicos do solo associados ao uso e ocupação da paisagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, p.427-435, 2007.

GOMES, A.; PEÑA, Y.A. **Caracterização da compactação através do uso do penetrômetro. Lavoura Arrozeira**, Porto Alegre, v.49, n.1, p.18-20, 1996.

GONÇALVEZ, J.L.M.; NOGUEIRA JR., L.R.; DUCATTI, F. Capítulo 6 – Recuperação de solos degradados. In: KAGEYAMA, P.Y.; OLIVEIRA, R.E.; MORAES, L.F.D.; ENGEL, V.L.; GANDARA, F.B. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Botucatu: FEPAF, 2003. 113 - 157.

GREACEN, E. L.; SANDS, R. Compaction of forest soils. A review. **Australian Journal of Soil Research**, v.18, p.163-89, 1980.

HAN, H. S.; PAGE-DUMROSE, D.; HAN, S. K.; TIROCKE, J. Effects of slash, machine passes, and soil moisture on penetration resistance in a cut-to-length Harvesting. **International Journal**

of **Forest Engineering**. P. 11-24, v. 17, n. 2, 2006. Acesso em 25 de jan. de 2017. Disponível em: < https://www.fs.fed.us/rm/pubs_other/rmrs_2006_han_h001.pdf>.

HONDA, E. A. **Repartição da água da chuva sob o dossel e umidade do solo no gradiente fisionômico da vegetação do Cerrado**. 189 p. Tese de doutorado - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Engenharia Ambiental e Área de Concentração em Ciências da Engenharia Ambiental -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2013.

INTERNATIONAL PAPER. Plano de Manejo Versão DPA 002-6. 2013. 23p.

JENNINGS, S. B.; BROWN, N. D.; SHEIL, D. Assessing forest canopies and understory illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. **Forestry**, v.72, n.1, p.59-73, 1999.

LEITE, F. P.; BARRO, N. F.; SANS, L. M. A.; FABRES, A. F. Regime hídrico do solo sob povoamento de eucalipto, floresta nativa e pastagem, na região de Guanhães – MG. *Revista Árvore*, Viçosa, vol. 21, n. 4, p. 455-462, 1997.

LETEY, J. Relationship between soil physical properties and crop production. **Advances in Soil Science**, New York, v.1, n.2, p.277-94, 1985.

LORENZON, A. S.; DIAS, H. C. T.; LEITE, H. G. Precipitação efetiva da chuva em um fragmento florestal com diferentes estágios de regeneração. **Revista Árvore**, Viçosa, v.37, n.4, p.619-627, 2013.

MACHADO, R.B.; RAMOS, M.B.N.; PEREIRA, P.; CALDAS, E.; GONÇALVES, D.; SANTOS, N.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Conservation International do Brasil, Brasília. 2004a.

MACIEL NETTO, A.; ANTONIO, A. C. D.; AUDRY, P.; CARNEIRO, C. J. G.; DALL’OLIO, A. Condutividade hidráulica não saturada de um podzólico amarelo da zona da mata norte de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35,n.6, p.1221-1228, 2000.

MENDONÇA, L. A. R.; VÁSQUEZ, M. A. N.; FEITOSA, J. V.; OLIVEIRA, J. F.; FRANCA, R. M.; VÁSQUEZ, E. M. F.; FRISCHKORN, H. Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. **Engenharia Sanitária Ambiente**, V.14 n.1, jan/mar 2009. P. 89-98.

MESSINA, R. **Elaboração e implantação de um modelo de recomposição ciliar às margens da Represa do Lobo, Itirapina, SP**. 151p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.

MUSCHLER, R.G. Árboles en cafetales. Turrialba, Costa Rica: **Catie**/ GTZ, 2000.

NIJZINK, R. et al. The evolution of root-zone moisture capacities after deforestation: a step towards hydrological predictions under change?. **Hydrol. Earth Syst. Sci.**, 20, 4775–4799, 2016.

OLIVEIRA, L. L.; COSTA, R. F. da; COSTA, A. C. L. da; SOUSA, F. A. S. de; BRAGA, A. P. Modelagem da interceptação na floresta nacional de caxiuanã, no leste da Amazônia. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 3, p. 318-326, Set. 2008.

POGGIANI, F. Monitoramento ambiental de plantações florestais e áreas naturais adjacentes. In: **Workshop sobre monitoramento ambiental em áreas florestadas**, 1, PIRACICABA, 1996. Memória. Série Técnica IPEF, v.10, n. 29, p.1-79, 1996.

QUANG, P. V.; JANSSON, P. E.; KHOA, L. V. Soil penetration resistance and Its dependence on soil moisture and age of the raised-beds in the Mekong Delta, Vietnam. **International Journal of Engineering Research and Development**, vol. 4, Issue 8, nov. 2012, PP. 84-93.

SANDS, R.; GREACEN, E. L.; GERARD, G. J. Compaction of sandy soils in radiata pine forests. I. A penetrometer study. **Australian Journal of Soil Research**, v.17, p.101-113, 1979.

SANTOS, J. R. **Recursos Hídricos no Cerrado Brasileiro**: importância e contribuições da educação ambiental na preservação e no manejo sustentável. Universidade de Brasília – UnB. Brasília, 2012.

SCHWÄRZEL, K.; EBERMANN, S.; SCHALLING, N. Evidence of doublefunneling effect of beech trees by visualization of flow pathways using dye tracer. **Journal of Hydrology**, 2012. v.170-471, p.184-192.

SECRETARIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **RPPN SP/2013**: Anuário das Reservas Particulares do Patrimônio Natural Instituídas pela Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. 2013. Disponível em: <www.ambiente.gov.sp.br>. Acesso em 15 de jun. de 2016.

SOUZA, Z. M.; ALVEZ, M. C. Movimento de água e resistência à penetração em um Latossolo Vermelho distrófico de cerrado, sob diferentes usos e manejos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.1, p.18-23, 2003.

TAVARES FILHO, J.; BARBOSA, G.M.C.; GUIMARÃES, M.F. & FONSECA, I.C.B. Resistência do solo á penetração e desenvolvimento do sistema radicular do milho (*Zea mays*) sob diferentes sistemas de manejo em um Latossolo Roxo. **Revista Brasileira Ciência Solo**, 25:725-730, 2001.

TUCCI, C. E. M.; CLARKE, R. T. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. RBRH - **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, vol. 2 n.1 Jan/Jun 1997, p. 135-152.

WANG, D.; YATES, S. R.; ERNEST, F. F. Determining soil hydraulic properties using tension infiltrometers, time domain reflectometry, and tensiometers. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 62, n.2, p. 318-325, 1998.

WISCHMEIER, W.H., SMITH, D.D. **Predicting rainfall erosion losses**: A guide to conservation planning. Washington, USDA, 1978. 58p.