

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA SUSTENTABILIDADE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE
RECURSOS RENOVÁVEIS

Luara Castilho Pereira

**EVOLUÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM DIFERENTES
ESTÁGIOS DE REGENERAÇÃO NATURAL**

Sorocaba-SP 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA SUSTENTABILIDADE

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PLANEJAMENTO E USO DE
RECURSOS RENOVÁVEIS

Luara Castilho Pereira

**EVOLUÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM DIFERENTES
ESTÁGIOS DE REGENERAÇÃO NATURAL**

Dissertação 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

Financiamento: CAPES

Sorocaba-SP 2020

Castilho Pereira, Luara

EVOLUÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS EM DIFERENTES
ESTÁGIOS DE REGENERAÇÃO NATURAL / Luara Castilho Pereira. --
2020.

131 f. : 30 cm.

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

Orientador: Kelly Cristina Tonello

Banca examinadora: Prof. Dra. Julieta Bramorski, Prof. Dr. Herly Carlos
Teixeira Dias

Bibliografia

1. Propriedades do solo. 2. Recursos hídricos. 3. Bioma Cerrado. 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)

Bibliotecário(a) Responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano – CRB/8 6979

LUARA CASTILHO PEREIRA

**EVOLUÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM
DIFERENTES ESTÁGIOS DE REGENERAÇÃO NATURAL**

**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, 08 de maio de 2020.

Orientadora:



Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar *Campus Sorocaba*

Certifico que a sessão de defesa foi realizada com a participação à distância da Profa. Dra. Julieta Bramorski (Universidade Federal do Amapá - UNIFAP) e do Prof. Dr. Herly Carlos Teixeira Dias (Universidade Federal de Viçosa - UFV) e, depois das arguições e deliberações realizadas, os participantes à distância estão de acordo com o conteúdo do parecer da comissão examinadora redigido no relatório de defesa de Dissertação de Luara Castilho Pereira.



Profa. Dra. Kelly Cristina Tonello

Universidade Federal de São Carlos – UFSCar

Dedico este trabalho a toda minha família que me apoiou em toda trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço,

À Professora Dra. Kelly Cristina Tonello pela confiança, pelos desafios, por todo apoio, dedicação e amizade que tornaram este trabalho possível.

À todos os membros do grupo de pesquisa Hidrolef, pelas contribuições neste trabalho, em especial para Carina Correa, Alexandra Guideli, Marcelle Teodoro, Gregório Matus e Cícero Branco, pelas boas risadas em campo, por todo apoio e amizade nesta jornada.

À toda minha família, em especial à minha mãe Lara Castilho, que com muita confiança sempre apoiou minhas escolhas com os melhores conselhos.

À minha irmã Ana Carolina Castilho, que me incentivou a buscar meus objetivos em qualquer ocasião.

À minha tia Ana Maria Castilho, que me inspirou e me mostrou o caminho da busca pelo conhecimento.

Aos meus avós José Ivan e Lairdes Castilho, que com muito amor sempre acreditaram no meu potencial.

Ao meu pai Marcos Cesar, que me apoiou neste caminho.

Ao Leonardo Balbinot por todo amor, companheirismo, paciência e incentivo nesta caminhada, me ajudando em todas as ocasiões.

À Profa. Dra. Julieta Bramorski, Prof. Dr. Herly Carlos Teixeira Dias e Prof. Dr. Roberto Wagner Lourenço pela participação das bancas e contribuições ao trabalho.

À empresa International Paper pela disponibilidade da área e pelo apoio financeiro, viabilizando toda a coleta de dados.

Ao Rafael Silva pela contribuição na identificação das espécies encontradas.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Ao PPGPUR pela oportunidade e conhecimento.

É impossível progredir sem mudança, e aqueles que não mudam suas mentes não podem mudar nada.

- George Bernard Shaw

RESUMO GERAL

Florestas são importantes para diversos serviços ecossistêmicos que trazem benefícios ao homem, principalmente os serviços de suporte, como ciclagem de nutrientes, mitigação do clima, controle de erosão, recarga de recursos hídricos entre outros. Portanto é notável a importância da sustentabilidade desse recurso para a perpetuação das espécies. Uma das técnicas mais eficientes para o reestabelecimento das condições ecológicas naturais é a regeneração natural. Sabe-se que certas regiões possuem dificuldades em manter a umidade do solo para facilitar o processo de infiltração gradativa, porém, as florestas têm mecanismos próprios para auxiliar essas condições, como a interceptação de água pela serapilheira, para disponibilizar a água gradativamente para o solo, a umidade, compactação e densidade do solo também estão relacionadas ao processo de passagem da água da superfície para dentro do solo. Esse trabalho buscou analisar a influência da regeneração natural nas variáveis ambientais responsáveis por serviços ecossistêmicos de suporte. O projeto foi instalado em uma RPPN no Cerrado paulista, com 3 fragmentos em diferentes fases de regeneração natural (46 anos, 13 anos e 5 anos), onde ao longo de 12 meses foram coletados dados mensais de Precipitação efetiva (PE), Capacidade de retenção hídrica (CRH) de serapilheira, Densidade do solo (DS), Umidade do solo (US), Resistência mecânica à penetração do solo (RP), Velocidade básica de infiltração (VBI), Condutividade hidráulica do solo (K). A CRH se mostrou inversamente correlacionada com a precipitação efetiva da florestal, a área mais antiga apresentou a maior produção e CRH do material amorfo (em estágio mais avançado de decomposição), apesar de não ter apresentado a maior CRH total, ela apresentou a maior retenção hídrica efetiva da serapilheira. Quanto mais antiga a regeneração, maior era a US e menor a DS e a RP, mostrando que a regeneração promove a melhoria das características físicas do solo. Apesar dos resultados de VBI se mostrarem um pouco abaixo dos encontrados em literatura, isso não se deve a K, que apresentou valores próximos aos da literatura, mas sim é devido a repelência de água do solo, característica presente nos 3 fragmentos, de forma que quanto mais antiga a regeneração menor era a repelência, evidenciando que esta característica presente em regiões semiáridas e arenosas pode ser amenizada através da regeneração natural. Por fim, ainda foi realizada uma análise de correspondência buscando explicar a distribuição das espécies de acordo com as variáveis ambientais, sendo que a CRH e US foram as mais relacionadas com a distribuição das espécies. Assim, a regeneração natural promove melhoria em variáveis ambientais responsáveis por serviços ecossistêmicos de suporte.

Palavras chave: Propriedades do solo, Recursos hídricos e Bioma Cerrado.

OVERVIEW

Forests are important for several ecosystem services that bring benefits to man, mainly support services, such as nutrient cycling, climate mitigation, erosion control, water resource recharge, among others. Therefore, the importance of the sustainability of this resource for the perpetuation of species is remarkable. One of the most efficient techniques for restoring natural ecological conditions is natural regeneration. It is known that certain regions have difficulties in maintaining soil moisture to facilitate the process of gradual infiltration, however, forests have their own mechanisms to assist these conditions, such as the interception of water by the litter, to make the water gradually available to the soil. , soil moisture, compaction and density are also related to the process of passing water from the surface into the soil. This work sought to analyze the influence of natural regeneration on the environmental variables responsible for ecosystem support services. The project was installed in a RPPN in the Cerrado of São Paulo, with 3 fragments in different phases of natural regeneration (46 years, 13 years and 5 years), where over 12 months, monthly data of Net Precipitation (PE), Capacity of litter water retention (CRH), soil density (DS), soil moisture (US), mechanical resistance to soil penetration (RP), basic infiltration speed (VBI), hydraulic soil conductivity (K). CRH was inversely correlated with the net precipitation of the forest, the oldest area had the highest production and CRH of the amorphous material (in the most advanced stage of decomposition), despite not having the highest total CRH, it had the highest retention effective water content of litter. The older the regeneration, the larger the US and the lower the DS and the PR, showing that the regeneration promotes the improvement of the physical characteristics of the soil. Despite the VBI results being slightly below those found in the literature, this is not due to K, which presented values close to those in the literature, but rather due to soil water repellency, a characteristic present in the 3 fragments, so that the older the regeneration, the lower the repellency, showing that this characteristic present in semi-arid and sandy regions can be mitigated through natural regeneration. Finally, a correspondence analysis was carried out in order to explain the species distribution according to the environmental variables, with CRH and US being the most related to the species distribution. Thus, natural regeneration promotes improvement in environmental variables responsible for ecosystem support services.

Keywords: Soil properties, water resources and Cerrado biome.

INTRODUÇÃO GERAL

Devido a incentivos ou consciência, encontramos hoje diversas empresas, organizações, governos e entidades que aderem a produção sustentável respeitando as áreas nativas. Dessa forma, muitas empresas vêm investindo em tecnologias para melhorar a eficiência da produção, o que permite a readequação de áreas comerciais em áreas de conservação, melhorando assim a biodiversidade.

A biodiversidade é responsável por promover diversos serviços ecossistêmicos que são ainda relevantes no processo produtivo de espécies cultivadas, como reciclagem de nutrientes, regulação climática, aumento da fertilidade do solo, regulação e controle de pragas entre outros. (Sujii et al. 2010; Venzon et al. 2018).

Regiões áridas e semiáridas, como Cerrado, Savanas e Caatinga, ocupam hoje a terceira posição de perda de cobertura, tornando-se áreas de alta prioridade de conservação e regeneração (Kalacska, et al., 2004, Griscom & Ashton, 2011).

Uma das formas mais baratas e eficiente de restabelecer florestas naturais aumentando a biodiversidade é através da regeneração natural, a fim de manter o bioma do local, e ecossistema da região. Ao mesmo tempo é um processo naturalmente lento, sendo assim, é importante o conhecimento da informação de quais processos, atributos e variáveis ambientais ajudam na regulação desses serviços ecossistêmicos.

O conceito de Serviços Ecossistêmicos foi bem aceito em 1997 com a publicação do trabalho intitulado “O valor dos serviços ecossistêmicos do mundo e o capital natural” por Constanza et al. (1997) na revista Nature, trazendo um valor para cada serviço ecossistêmico (Fonseca e Silva 2010).

Sendo assim, Daily (1997) define serviços ecossistêmicos como as condições e processos através dos quais os ecossistemas naturais e as espécies que os compõe, sustentam a vida humana. Trazendo assim benefícios diretos e indiretos das funções dos ecossistemas para as populações humanas. (Constanza et al. 1997; Andrade e Romeiro 2009). Também é importante definirmos funções ecossistêmicas, que são as constantes interações entre os elementos estruturais de um ecossistema, incluindo transferência de energia, ciclagem de nutrientes, regulação climática e do ciclo da água.

De acordo com (MEA, 2005) há quatro tipos de serviços ecossistêmicos benéficos às populações humanas, são eles: Serviços de Provisão (alimento, água, lenha, fibra, princípios ativos e recursos genéticos); Serviços de Suporte (formação de solos, produção primária, ciclagem de nutrientes e processos ecológicos); Serviços Culturais (espiritualidade, lazer, educação e simbolismos); e, Serviços de Regulação (regulação do clima, controle de doenças, controle de enchentes e desastres naturais, purificação de água, purificação do ar e controle de erosão).

Lima (2019) realizou um estudo a fim de demonstrar os serviços ecossistêmicos mais percebidos por produtores rurais em áreas de Cerrado, os principais pontos levantados pelos produtores foram a regulação do clima e da água, bem como polinização e controle biológico.

De acordo com Alarsa et al. (2018) e Fichino (2014) 60% dos serviços ecossistêmicos considerados pela Avaliação Ecossistêmica do Milênio estão sendo degradados e que houve uma redução em média de 0,5% ao ano dos habitats e populações selvagens, a perda da diversidade é de 100 a 1000 vezes maior do que em outros séculos (Rockstrom et al. 2009; Fonseca e Silva 2010).

Alarsa et al. (2018) citando Turetta (2017) comenta que há seis serviços ecossistêmicos do solo sob ameaça, são eles biomassa, recursos hídricos, saúde do solo, biodiversidade e provimentos econômicos e sociais, de forma que a demanda por eles é maior do que a capacidade de suporte observada, há ainda uma citação da FAO dizendo que “a cada ano, perdem-se mais de 20 bilhões de toneladas de solos devido à erosão no mundo”.

Caracterizando assim os serviços ecossistêmicos do solo, como um dos tipos mais ameaçados, a falta de cobertura vegetal causa processos erosivos como compactação do solo (reduz porosidade, aumenta resistência, limita oxigênio e água).

Vários autores correlacionam variáveis do solo, como penetração, compactação, densidade, umidade e textura, sendo que a umidade, influencia diversos processos (Timm, et al. 2006), pois a água presente no solo, é uma fonte para o desenvolvimento da vegetação, podendo afetar a estrutura da floresta e a diversidade de espécies, sendo o fator mais importante que controla os processos hidrológicos. (Castilho et al. 2003, Seeger, et al. 2003, Wang, et al. 2013).

Assim como a água retina na serapilheira é também uma estratégia de ecossistemas em reabilitação, para abastecer organismos que não sobrevivem por impedimentos físicos.

A serapilheira evita a selagem do solo, impede a compactação superficial facilitando a infiltração da água no solo (Vallejo, 1982). Reduz o escoamento superficial além de retenção e ciclagem de nutrientes. (Santos et al. 2017).

Essas regiões áridas e semiáridas como o Cerrado, são áreas em especial que necessitam ainda da vegetação para regular a entrada gradativa de água no solo de modo a mantê-lo úmido mesmo quando a precipitação é baixa, regula ainda o clima local, a atividade química e microbiana da floresta que auxilia na fertilidade do solo e nas taxas de infiltração, que, através da percolação profunda podem abastecer as águas subterrâneas.

Para o presente trabalho, a área de pesquisa em questão foi dividida em três fragmentos, os quais estão em processo de regeneração natural após colheita de eucalipto, sendo eles:

- Fragmento A - FA: apresenta características de floresta em estágio avançado de recuperação, possuindo uma idade de regeneração natural de 46 anos.
- Fragmento B - FB: apresenta características de floresta em estágio médio de recuperação, possuindo uma regeneração natural de 13 anos
- Fragmento C - FC: apresenta características de florestas em estágio inicial de recuperação, possuindo uma regeneração natural de 5 anos.

Objetivo geral:

Verificar a influência do processo de regeneração natural nos atributos ambientais do solo e de regulação hídrica responsáveis por serviços ecossistêmicos de suporte.

Os Capítulos e seus objetivos estão apresentados abaixo:

CAPÍTULO I – ANÁLISE DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS DE INFLUÊNCIA HIDROLÓGICA NAS FLORESTAS EM REGENERAÇÃO NATURAL DE

CERRADO: UMA ANÁLISE DA LITERATURA.

Objetivos: Identificar temas secundários dos trabalhos de fragmentos florestais em regeneração justificando a influência da regeneração em variáveis ambientais que são responsáveis por serviços ecossistêmicos de suporte.

CAPÍTULO II – CAPACIDADE DE RETENÇÃO HÍDRICA DA SERAPILHEIRA EM FLORESTAS REGENERANTES

Objetivo: Identificar o comportamento da produção e capacidade de retenção hídrica de serapilheira em função de diferentes idades de regeneração natural.

CAPÍTULO III – PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO EM FLORESTAS REGENERANTES.

Objetivo: Analisar os serviços ecossistêmicos de áreas sob diferentes estágios de regeneração natural do Bioma Cerrado na perspectiva de caracterizar a relação entre a resistência mecânica à penetração e umidade e densidade do solo e o desenvolvimento da sucessão secundária.

CAPÍTULO IV – EFEITOS DA REGENERAÇÃO NATURAL DO BIOMA CERRADO NAS PROPRIEDADES HIDROLÓGICA DO SOLO

Objetivo: Identificar os efeitos da regeneração natural nas propriedades hídricas do solo em diferentes estágios da regeneração.

CAPÍTULO V – VARIÁVEIS AMBIENTAIS E A DISTRIBUIÇÃO DAS ESPÉCIES DE UM FRAGMENTO EM REGENERAÇÃO NATURAL NO CERRADO PAULISTA.

Objetivos: Identificar as variáveis ambientais que influenciam na distribuição das espécies do Cerrado em regeneração.

CAPÍTULO I – ANÁLISE DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS DE INFLUÊNCIA
HIDROLÓGICA NAS FLORESTAS EM REGENERAÇÃO NATURAL DE
CERRADO: UMA ANÁLISE DA LITERATURA.

RESUMO

A restauração natural busca reestabelecer ecossistemas originais, os quais dependem de vários fatores ambientais, como precipitação, temperatura e luminosidade, além disso muitas variáveis ambientais sofrem influência dos fragmentos de regeneração, como por exemplo, a umidade do solo, associado à diversos processos naturais, desde a fertilização do solo, até a recarga de aquíferos. Portanto, esse trabalho busca analisar 204 artigos no tema central de regeneração natural com ênfase em Savana e Cerrado, apontando as variáveis ambientais e co-ocorrência de temas. As palavras-chave desses 204 artigos foram analisadas através dos softwares R e Iramuteq. Foi observado que há uma tendência geral de crescimento de pesquisa nesse tema, principalmente na América e Ásia, que tiveram um aumento de publicações nos últimos anos. Através do mapa de co-ocorrência das palavras, tem-se que “restoration” como termo principal, que cria relações através de ocorrência com demais palavras, caracterizado com forte relação com as palavras “forest” e “soils”, que, por sua vez, trazem diversas palavras que se relacionam e co-ocorrem com elas, sendo “soils” a palavra mais presente nos artigos e a mais relacionada com a palavra “water”, demonstrando a relação entre esses dois parâmetros em processos de regeneração natural.

Palavras chave: Recuperação de áreas degradadas, restauração florestal, ciclo hidrológico, hidrologia florestal, recarga de águas subterrâneas.

ABSTRACT

Natural restoration seeks to reestablish original ecosystems, which depend on various environmental factors, such as precipitation, temperature and luminosity, in addition, many environmental variables affect the regeneration fragments, such as soil moisture, associated with several natural processes, from soil fertilization to aquifer recharge. Therefore, this work seeks to analyze 204 articles on the central theme of natural regeneration with an emphasis on Savana and Cerrado, pointing out environmental variables and co-occurrence of themes. The keywords of these 204 articles were analyzed using R and Iramuteq software. It was observed that there is a general trend of growth in research on this topic, mainly in America and Asia, which had an increase in publications in recent years. Through the co-occurrence map of the words, “restoration” is the main term, which creates relationships through occurrence with other words, characterized with a strong relationship with the words “forest” and “soils”, which, in turn, instead, they bring several words that are related and co-occur with them, with "soils" being the word most present in the articles and the most related to the word "water", demonstrating the relationship between these two parameters in natural regeneration processes.

Keywords: Recovery of degraded areas, forest restoration, hydrological cycle; forest hydrology, groundwater recharge.

1. INTRODUÇÃO

Dentre as diversas causas que estimulam a restauração natural, há o papel desenvolvido por grandes empresas de contribuir para o meio ambiente a fim de mitigar os impactos causados pela produção. Atitude essa não apenas bem vista para seus possíveis clientes e consumidores, mas também muitas vezes por exigências de certificações e de legislação. Assim, essa adequação ambiental de setores, representa um ganho no mercado e maior geração de renda e emprego, dando dimensão econômica para a prática da restauração de florestas (Brancanlion, 2010).

A restauração natural visa o reestabelecimento de florestas capazes de se autopertuar, biologicamente viáveis, independentes de intervenções humana (Brancanlion, 2010), entretanto, a sucessão natural pode levar muitas décadas até alcançar taxas de regeneração com alta variabilidade (Corbin e Holl, 2012).

Os ecossistemas florestais, constituídos por parte aérea composta pelas árvores e parte terrestre representada pelos solos e serapilheira, desempenham inúmeras funções: mitigação do clima (temperatura e umidade); redução de enchentes e recarga para os rios; controle de erosão; melhoramento da qualidade da água no solo e no rio; atenuação da poluição atmosférica; fornecimento do oxigênio (O₂) e absorção do gás carbônico (CO₂), prevenção contra ação do vento e ruídos, recreação e educação; produção de biomassa e fornecimento de energia (Balbinot, 2008).

Em se tratando de florestas semiáridas, como Savanas, Caatingas e o Cerrado brasileiro, regiões com diversidade de espécies ainda menor que as florestas úmidas e tropicais, com várias espécies endêmicas e com valor econômico, vêm ocupando a terceira posição de perda de cobertura, tornando-se áreas raras de alta prioridade de conservação e regeneração (Kalacska, et al., 2004, Griscom e Ashton, 2011). É ainda importante manter remanescentes florestais grandes e bem conservados para serem usados como fontes de sementes nos esforços de restauração (Sujii et al., 2017).

O bioma Cerrado se caracteriza pela alta diversidade biológica, com 11.046 espécies de plantas vasculares (Mendonça et al., 2008), das quais cerca de 4.400 são endêmicas (Myers et al., 2000) e apesar de sua importância biológica, nos últimos 40 anos a paisagem natural desse bioma vem sofrendo mudanças expressivas, com quase 50% de

sua área original convertida em áreas antropizadas (Klink e Machado 2005, Oliveira, 2015).

Outra particularidade das florestas de região semiáridas é a disponibilidade de água, que sustenta as funções do ecossistema. A umidade armazenada nas diferentes camadas do solo é reconhecida por ser um importante componente para a produtividade e sustentabilidade dos ecossistemas de regiões semiáridas (Legates, et al., 2011, Porpoato, et al., 2002, Yang, et al., 2014), pois a floresta é fortemente afetada pelo ciclo hidrológico e interações entre vegetação e disponibilidade hídrica (Yang, et al., 2014). Pesquisadores tem estudado a relação da variação espaço-temporal entre a umidade do solo, textura do solo, matéria orgânica, fatores topográficos entre outros (Tromp-van Meerveld e McDonnell, 2006, Qiu, Fu, Wang, e Chen, 2001, Western, et al., 1999, Yang, et al., 2014).

A água presente no solo é uma fonte para o desenvolvimento da vegetação, podendo afetar a estrutura da floresta e a diversidade de espécies, sendo o fator mais importante que controla os processos hidrológicos (Castilho et al., 2003, Seeger, et al., 2004, Wang, et al., 2013).

Um dos principais processos hidrológicos com o qual a restauração florestal busca contribuir é a infiltração de água no solo, pois a mesma após percolar é responsável pela recarga de águas subterrâneas. De acordo com Paixão, et al., (2004) os estudos de infiltração de água no solo são extremamente importantes para o manejo, planejamento, técnicas de conservação do solo e para o entendimento da retenção de água pelo mesmo.

No que diz respeito à conservação do solo é inegável a proteção exercida pela cobertura tanto de floresta quanto serapilheira, e estas características podem ser empregadas no manejo de bacias hidrográficas, para produção de água de boa qualidade (Balbinot, 2008).

Em estudo realizado por Mendonça et al. (2009) tem-se que a capacidade de infiltração do solo contribui para a quantidade de água armazenada no solo, aumento do estresse hidrológico e redução da recarga do aquífero, mudanças essas provocadas pela compactação do solo devido degradação contínua.

De acordo com Santos et al. (2004), as comunidades são unidades ecológicas muito complexas e as variáveis bióticas e abióticas são usadas em estudos dos

ecossistemas através das inter-relações entre essas variáveis que regem o funcionamento desses ecossistemas. Portanto para compreender um ecossistema é necessário conhecer as relações entre variáveis.

Neste contexto, esse trabalho objetivou identificar temas secundários dos trabalhos de fragmentos florestais em regeneração justificando a influência da regeneração em variáveis ambientais que são responsáveis por serviços ecossistêmicos de suporte.

2. MATERIAL E METODOLOGIA

Os artigos que relacionam as variáveis ambientais de áreas em regeneração em cerrado e savanas, foram extraídos dos indexadores Science Direct e Scopus através da pesquisa das palavras: “restauração”, “restauração florestal”, “regeneração natural”, “restoration”, “forest restoration”, “regeneration”, “reforestation”, “regenerating”, “forest regeneration”, “savana”, “savana” e “cerrado” em título de artigos científicos entre os anos de 2009 a 2019, foram selecionados apenas artigos científicos, excluindo-se artigos de revisão, periódicos e teses. Os artigos foram analisados pela distribuição ao longo dos anos e por continente. Essa distribuição foi realizada no software R com o auxílio do RStudio.

A análise por palavras-chave dos respectivos artigos selecionados representa os temas secundários de cada artigo, ou seja, o foco principal dos artigos era a regeneração natural, de acordo com a busca desse tema nos títulos, mas as palavras chaves indicam quais os outros temas relevantes da pesquisa sobre a regeneração natural de florestas.

Essas palavras-chave foram analisados no software Iramuteq com auxílio do software R, aplicando tratamentos estatísticos a fim de demonstrar a correlação entre essas palavras, a qual é representada pela distância espacial, onde cada palavra é um ponto no espaço sendo as que estão separadas por menores distâncias e conectadas com linhas mais espessas, possuem maior afinidade. As palavras mais representativas também possuem maior destaque de tamanho apresentado como uma nuvem de outras palavras que tendem a aparecer junto dela.

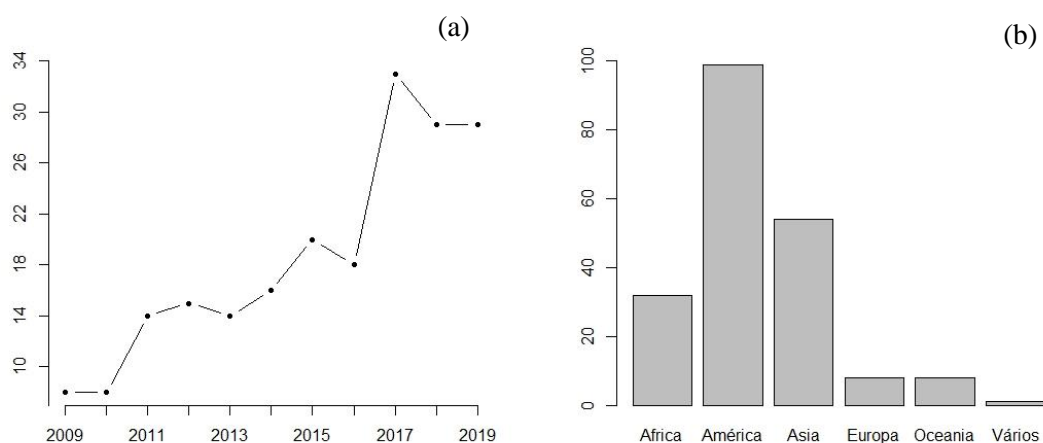
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos artigos envolvendo a temática de regeneração natural e bioma savana ou

cerrado, foram encontrados 204 artigos, com uma tendência de aumento ao longo dos anos até 2017, onde observou-se um breve decréscimo, seguido de estabilização no último ano (2018) (Figura 1a).

Também se observa que, nos últimos 10 anos, o continente que mais publicou artigos nessa temática foi a América, seguido da Ásia (Figura 1b), o que indica a ascensão da relevância desse tema nos últimos anos, tema que já vinha sendo estudado por outros continentes ao longo de períodos mais antigos.

Figura 1: Distribuição do número de artigos que relacionam as variáveis ambientais de áreas em regeneração em cerrado e savanas ao longo dos anos (a) e dos continentes (b).



Fonte: O Autor, 2020.

Na análise da co-ocorrência das palavras-chave (Figura 2), nota-se que a principal palavra é “restoration” representando a temática de regeneração de florestas nativas, a qual estabelece relação direta com todas as demais palavras. Por exemplo, “forest” gera sua própria nuvem de relação sendo “ecosystem” a de maior co-ocorrência, seguida por “climate” e “change”. Isso mostra que um dos principais objetivos de estudos de regeneração de florestas é a preocupação com as mudanças climáticas.

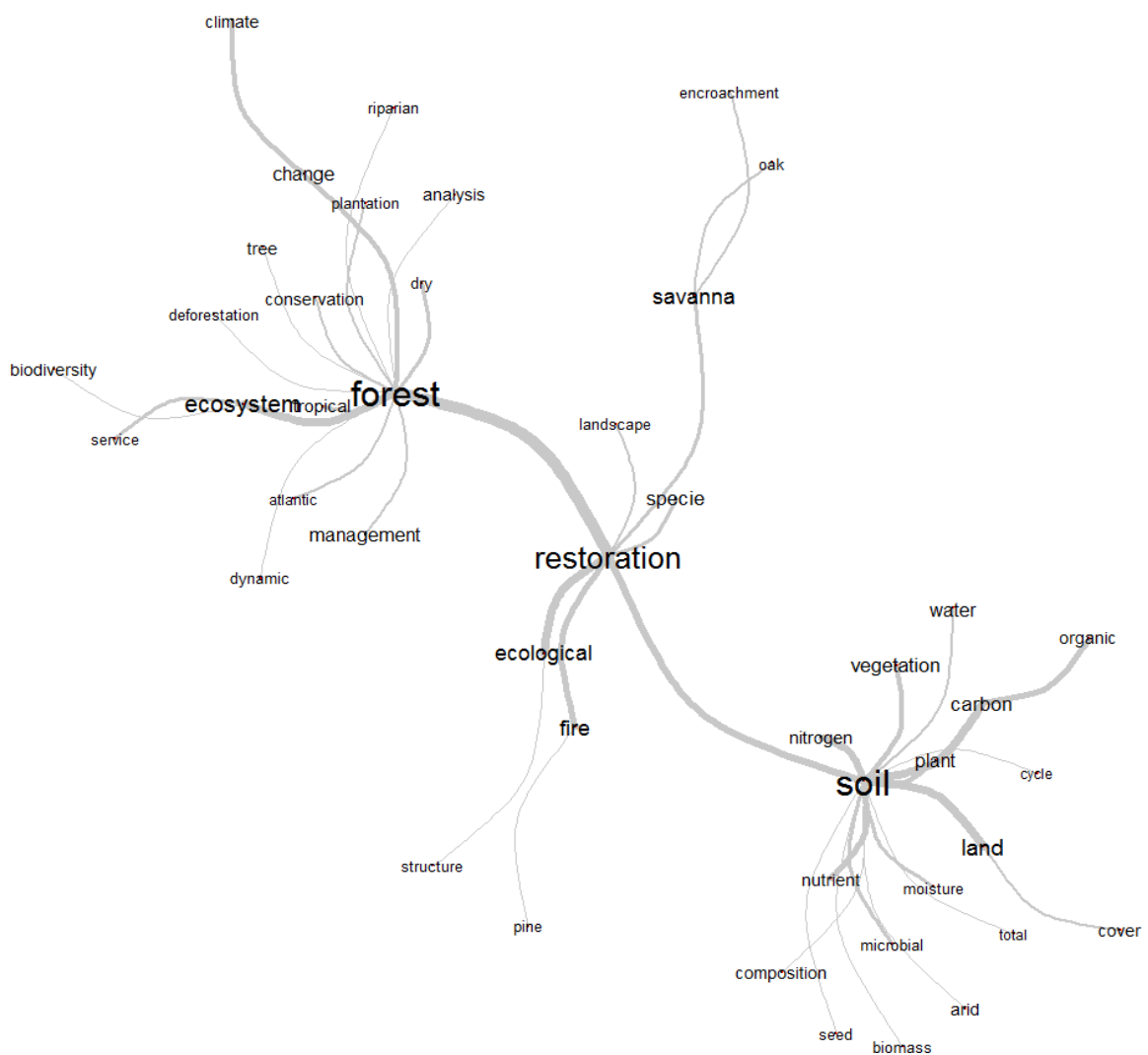
Notamos ainda que outra palavra fortemente relacionada com “restoration” é “soil”, a qual obteve maior frequência, aparecendo em 144 artigos, representado 70,6% do total de palavras. Ela possui também sua própria nuvem da qual podemos observar duas palavras com grande co-ocorrência com “soils”, elas são: “land” e “carbon”.

Além dessas palavras que derivam direto de “restoration” criando sua própria nuvem, há também as que co-ocorrem com “restoration” de maneira mais independente,

sem trazer mais palavras derivadas a elas, como por exemplo “savana”, “ecological”, “fire” e “specie”, subtemas relacionados também a regeneração natural de florestas.

Se tratando de um tema extenso, todas as palavras podem criar relações entre si, mas, através da Figura 2, é possível observarmos quais tem a tendência de aparecer mais vezes ligadas a cada subtema, demonstrando assim a tendência dos temas. Um exemplo seria “water”, a qual tem vários subtemas que divide espaço com “forest” Entretanto, notamos que de acordo com esses artigos, ela tem a tendência de ocorrer com a palavra “soil”, o que indica a tendência de estudo da conservação do solo com foco em água.

Figura 2: Agrupamento das palavras-chave dos artigos da temática regeneração natural, através da análise de co-ocorrência.



Fonte: O Autor, 2020.

Nota-se que muitos trabalhos relativos à regeneração em regiões áridas e semiáridas relacionam a capacidade regeneração do bioma com incêndios, uma vez que, se tratando de áreas muito secas, a queimada é mais frequente, o que pode contribuir para a inibição da regeneração em específicas áreas de paisagem de forma que a vegetação em seu processo de regeneração natural se desenvolve mais em áreas de refúgio de incêndios, áreas com menor exposição solar, mais próxima a fragmentos florestais (Santos et al. 2019).

Entretanto é possível gerenciar o benefício de promover resiliência da floresta a futuros incêndios florestais através de práticas suplementares de restauração, e assim, reduzir as cargas de combustível dos arbustos, de forma a incentivar a rápida regeneração pós-incêndio, e aumentar a heterogeneidade da paisagem (Nemens et al., 2018). Evidencia-se ainda que a degradação microbiana de serapilheira pode ser mais efetiva em solos de áreas que foram queimadas, havendo ainda uma mudança potencial na comunidade do solo passando da limitação de fósforo para limitação de nitrogênio após o incêndio. (Rietl e Jackson, 2012).

Ferreira e Vieira (2014) em seu estudo sobre regeneração de florestas tropicais secas em pedreira de calcário, mostra que a técnica de translocação do solo superficial é eficaz no início do processo de sucessão. Há autores também que afirmam que é possível utilizar substâncias húmicas, agregados e microporosidade do solo como indicadores de restauração (Kimura et al. 2017).

Diversos fatores ambientais influenciam a capacidade de regeneração natural, cada qual em proporções diferentes dependendo do cenário, sendo temperatura e precipitação os principais fatores que determinam o índice de vegetação (Peng et al. 2017). Mas, em sua grande maioria, nota-se que a floresta exerce também o papel de mitigar e controlar a seca, através da retenção de umidade, de modo a beneficiar a infiltração de água e regulação da umidade (Feng e Liu, 2015).

Outra característica ecológica beneficiada pela floresta é a qualidade do solo, especificamente floresta nativa, em seu estudo Dickens e Allen (2014) identificaram que plantas exóticas (gramíneas) competem diretamente com as plantas nativas pelo Nitrogênio mas que os impactos no ciclo do Nitrogênio foram reversíveis após a remoção das plantas exóticas e o restabelecimento dos arbustos nativos, o que pode ter implicações importantes para a recuperação de outros ecossistemas invadidos pelas

gramíneas anuais.

A comparação de restaurações florestais de curto e longo prazo em locais com plantas exóticas invasoras e restauradas pode ser usada para identificar características do solo que são mais sensíveis à invasão de espécies exóticas (Callaway e Ridenour, 2004, Dickens e Allen, 2014).

Muitos desses trabalhos (Barberá et al., 2019, Yu et al., 2018, Awanyo, 2011) relacionam essas variáveis, sendo a umidade do solo uma das mais frequente e influente na regeneração natural, ainda que ela também dependa de outros fatores. Por exemplo, os fatores climáticos, estão normalmente associados a ele, de forma a exercerem essa interação significativa com a umidade do solo, sendo uma correlação positiva com a precipitação, e, negativa com a temperatura do ar, sendo essa, a relação mais significativa (Feng e Liu, 2015).

Outro fator relacionado frequentemente com a umidade e temperatura é a respiração do solo, a qual aumenta exponencialmente com o aumento da temperatura do solo, não havendo relação significativa com o teor de água no solo (Liang Yi et al., 2013, Moore et al., 1998, Song et al., 2008).

A grande preocupação com relação à umidade do solo e à retenção de água pela floresta, é a promoção da infiltração de água no solo, e uma potencial recarga de águas subterrâneas (Krishnaswamy et al., 2013, Gondwe et al., 2010, Lu et al., 2016).

Krishnaswamy et al. (2013) afirmam que enquanto a conversão da floresta natural em pastagem superpovoada reduzirá a evapotranspiração e infiltração, algumas plantações jovens com rápido crescimento e alta densidade podem coincidir com florestas naturais em evapotranspiração, mas não em infiltração. Ainda assim, áreas de matagais, ou áreas de repouso de pastagem, conseguem mostrar sinais de recuperação após cessar as atividades de pastagem durante a estação de crescimento de um ano extremamente úmido, sugerindo que a escassez de água é a principal restrição na restauração de áreas com herbáceas (Cotroneo et al. 2018)

Se a intensidade das chuvas exceder a infiltração, e os tipos de cobertura da terra serem propensos ao escoamento do excesso de infiltração, haverá redução na recarga nas águas subterrâneas. Nota-se, assim, a importância não apenas de povoamentos florestais, mas também de florestas naturais (Krishnaswamy et al. 2013).

Em um estudo de propriedades hidráulicas do solo de uma área da Amazônia Brasileira que foi convertida de floresta para pasto, foi monitorada por 4 anos até ser abandonada passando pelo processo de regeneração por 7 anos. Este estudo obteve resultado de redução da infiltrabilidade do solo e da condutividade hidráulica em apenas um ano que a área se tornou pastagem, atingindo valores típicos de pastagens de 20 anos, já os 7 anos da sucessão secundária após o abandono da área não foram suficientes para aumentar significativamente tais características (Zimmermann, et al., 2010), mostrando que áreas foram perturbadas levam tempo para recuperarem as propriedades hidráulicas do solo.

Entretanto, na busca pelo retorno de florestas nativas, ocorre com frequência a prática de restauração florestal através da implantação de indivíduos de espécies arbóreas nativas. Comparando a umidade do solo em 3 profundidades e 8 tipos de vegetação em florestas semiáridas Yang et al. (2014) afirmam que a alta densidade de plantio é a principal causa de déficit severo de umidade do solo a longo prazo, pois a vegetação introduzida consome quantidade excessiva de umidade do solo, sugerindo então a otimização do plantio em áreas de restauração com as condições locais de umidade do solo em regiões semiáridas.

Contudo, Silva, et al. (2017) afirmam que resultados obtidos por meio da aplicação de técnicas de restauração assistidas indicam acelerar o processo de estabelecimento da conectividade da paisagem em locais desprovidos de conexões. Além disso, as plantações de restauração recuperam altos níveis de diversidade genética (Sujii et al. 2017) além de produzirem impactos positivos no sequestro de carbono (Yang, et al. 2014).

Sendo assim, a eficiência do uso da água da vegetação deve ser considerada no planejamento de futuras restaurações ecológicas, tanto para tornar a restauração mais econômica quanto para proteger a ecosfera pois em casos de implantação de árvores para restauração ecológica deve-se levar em conta características das espécies selecionadas e do local para que a evapotranspiração das espécies selecionadas não exceda a precipitação do local (Lu et al., 2016).

De acordo com Pugnaire (2011) é necessário um bom entendimento dos processos naturais a fim de se poder gerenciar adequadamente habitats naturais, bem como prevenir riscos ambientais e garantir o contínuo fornecimento de seus serviços

ecossistêmicos. Porém, Griscom (2011) destaca que existe um “desequilíbrio” na literatura sobre as vias de restauração em florestas tropicais secas nas Américas, e que se faz necessário estudos experimentais futuros sobre essa temática.

4. CONCLUSÃO

Devido à importância de se identificar parâmetros cruciais no estabelecimento e condução de regeneração de florestas, o tema vem sendo explorado cada vez mais nos últimos anos, principalmente na América e Ásia. Nota-se ainda que o tema de regeneração ocorre em parceria com diversos outros subtemas (palavras-chave) sendo “solos”, o mais frequentemente explorado, principalmente pela sua cobertura e pelas relações com a água. Diversos estudos demonstraram a importância de compreender as relações entre fatores como a umidade do solo, retenção de água pela floresta, precipitação e temperatura a fim de proporcionar benefícios ao ecossistema e seu comportamento perante a regeneração natural.

REFERÊNCIAS

- Awanyo, L., Morgan, E., Mccarron, M. (2011) Rehabilitation of forest-savannas in Ghana : The impacts of land use , shade , and invasive species on tree recruitment. *Applied Geography*, 31, 181-190.
- Balbinot, R., Oliveira, N. K., Vanzetto, S. C., Pedroso, K., Valério, A. F. (2008). O papel da floresta no ciclo hidrológico em bacias hidrográficas. *Ambiência*, 4, 131-149.
- Barberá, G., Martínez-garagarza, X., Martínez-mena M. (2019). Soil moisture dynamics alone does not explain differences in growth associated to organic amendment in a reforestation of a semiarid ecosystem. *Catena*, 180, 383-391.
- Brancanlion, P. H. (2010). Instrumentos legais podem contribuir para a restauração. *Revista Árvore*, 34, 455-477.
- Callaway, R.M., Ridenour, W.M. (2004). Novel weapons: invasive success and the evolution of increased competitive ability. *Front. Ecol. Environment*, 2, 436-443.
- Castilho, V. M., Gómez-Plaza, A., Martínez-Mena, M. (2003). The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments. *Journal of*

Hydrology, 284, 114-130.

- Corbin, J. D., Holl, K. D. (2012). Forestry ecology and management applied nucleation as a forest restoration strategy. *Forest Ecology and Management*, 265, 37-46.
- Cotroneo, S. M., Jacobo, E. J., Brassiolo, M. M., Golluscio, R. A. (2018). Restoration ability of seasonal exclosures under different woodland degradation stages in semiarid Chaco rangelands of Argentina. *Journal of Arid Environments*, 158, 28-34.
- Dickens, S. J. M., Allen, E. B. (2014). Soil nitrogen cycling is resilient to invasive annuals following restoration of coastal sage scrub. *Journal of Arid Environments*. 110. 12-18.
- Feng, H.; Liu, Y. (2015). Combined effects of precipitation and air temperature on soil moisture in different land covers in a humid basin. *Journal of Hydrology*, 1129 - 1140.
- Ferreira, M. C., Vieira, D. L. M. (2017). Topsoil for restoration: Resprouting of root fragments and germination of pioneers trigger tropical dry forest regeneration. *Ecological Engineering*, 103, 1-12.
- Gondwe, B., Lerer, S., Stisen, S. (2010). Hydrogeology of the south-eastern Yucatan Peninsula: New insights from water level measurements, geochemistry, geophysics and remote sensing. *Journal of Hydrology*, 389, 1-17.
- Griscom, H. P., & Ashton, M. S. (2011). Forest ecology and management restoration of dry tropical forests in Central America: a review of pattern and process. *Forest Ecology and Management*, 261, 1564-1579.
- Kalacska, M., Sanchez-Azofeifa, G. A., Calvo-Alvarado, J. C., Quesada, M., Rivard, B., & Janzen, D. H. (2004). Species composition, similarity and diversity in three successional stages of a seasonally dry tropical forest. *Forest Ecology and Management*, 227-247.
- Kimura, A., Baptista, M. B., Scotti, M. R. (2017). Soil humic acid and aggregation as restoration indicators of a seasonally flooded riparian forest under buffer zone system. *Ecological Engineering*, 98, 146-156.

- Krishnaswamy, J., Bonell, M., Venkatesh, B., Purandara, B. K., Rakesh, K. N., Lele, S., Badiger, S. (2013). The groundwater recharge response and hydrologic services of tropical humid forest ecosystems to use and reforestation: Support of the "infiltration-evapotranspiration trade-off hypothesis". *Journal of Hydrology*, 498, 191 – 209.
- Legates, D. R., Mahmood, R., Levia, D. F., Deliberty, T. L., Quiring, S. M., Houser, C., et al. (2011). Soil moisture: a central and unifying theme in physical geography. *Prog. Phys. Geogr.*, 65-94.
- Liang, J. I. N., Chang-Yi, L. U., Yong, Y. E. (2013). Soil respiration in a subtropical mangrove wetland in the Jiulong River Estuary, China. *Pedosphere*, 23, 678 – 685.
- Lu, C., Zhao, T., Shi, X. (2016). Ecological restoration by afforestation may increase groundwater depth and create potentially large ecological and water opportunity costs in arid and semiarid China. *Journal of Cleaner Production*, 1-10.
- Mendonça, L. A., Vásquez, M. A., Feitosa, J. V., Oliveira, J. F., Franca, R. M., Vásquez, E. M., et al. (2009). Avaliação da capacidade de infiltração de solos submetidos a diferentes tipos de manejo. *Eng Sanit Ambient*, 14, 89-98.
- Moore, T. R., Roulet, N. T. and Waddington, J. M. (1998). Uncertainty in predicting the effect of climatic change on the carbon cycling of Canadian peatlands. *Climatic Change*, 40, 229–245.
- Myers, N., Mittermeier, R. A., Mittermeier, C.G., da Fonseca, G. A. B., Kent, J. (2000). Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 403: 853-858.
- Nemens, D. G., Varner, J. M., Kidd, K. R., Wing, B. (2018). Do repeated wildfires promote restoration of oak woodlands in mixed conifer landscapes? *Forest Ecology and Management*, 427, 143-151.
- Paixão, F. J., Andrade, A. R., Azevedo, C. A., Silva, J. M., Costa, T. L., Feitosa, R. M. (2004). Estimativa da infiltração de água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. *Revista de Biologia e Ciência da Terra*, 5, 1- 12.
- Peng, Y.; Wang, Q.; Fan, M. (2017). Identification of the key ecological factors

influencing vegetation degradation in semi-arid agro-pastoral ecotone considering spatial scales. *Acta Oecologica*, 62-68.

- Porpoato, A., D'Odorico, P., Laio, F., Ridolfi, L., Rodriguez-Iturbe, I. (2002). Ecohydrology of water-controlled ecosystems. *Advances in Water Resources*, 1335-1348.
- Pugnaire, F. I.; Armas, C.; Maestre, F. T. (2011). Positive plant interactions in the Iberian Southeast: Mechanisms, environmental gradients, and ecosystem function. *Journal of Arid Environments*, 1310-1320.
- Qiu, Y., Fu, B., Wang, J., Chen, L. (2001). Spatial variability of soil moisture content and its relation to environmental indices in a semi-arid gully catchment of Loess Plateau, China. *Journal of Arid Environments*, 49, 723-750.
- Rietl, A. J., Jackson, C. R. (2014). Effects of the ecological restoration practices of prescribed burning and mechanical thinning on soil microbial enzyme activities and leaf litter decomposition. *Soil Biology & Biochemistry*, 50, 47-5.
- Santos, J. H., Ferreira, R. L., Silva, J. A., Souza, A. L., Santos, E. S., Meunier, I. M. (2004). Distinção de grupos de espécies florestais por meio de técnicas multivariadas. *Revista Árvore*, 28, 387-396.
- Santos, J. F. C., Gleriani, J. M., Velloso, S. G. S., de Souza, G. S. A., do Amaral, C. H., Torres, F. T. P., Medeiros, N. d G., Reis, M d. (2019). Wildfires as a major challenge for natural regeneration in Atlantic Forest. *Science of the Total Environment*, 650, 809-821.
- Seeger, M., Errea, M. P., Beguería, S., Arnáez, J., Marti, C., García-Ruiz, J. M. (2004). Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small head catchment in the Spanish pyrenees. *Journal of Hydrology*, 288, 299-311.
- Silva, A. M. d., Bortolero, L. A., Castelli, K. R., Silva, R. A., Mendes, P. B. (2017). Prospecting the potential of ecosystem restoration: A proposed framework and a case study. *Ecological Engineering*, 108, 505-513.
- Song, C. C., Zhang, J. B., Wang, Y. Y., Wang, Y. S. and Zhao, Z. C. (2008). Emission of CO₂, CH₄ and N₂O from freshwater marsh in northeast of China. *J. Environ.*

Manage, 88, 428–436.

- Sujii, P. S., Schwarcz, K. D., Grando, C., Silvestre, E. d. A., Mori, G. M., Brancalion, P. H. S., Zucchi, M. I. (2017). Recovery of genetic diversity levels of a Neotropical tree in Atlantic Forest restoration plantations. *Biological Conservation journal*, 211, 110-116.
- Tromp-van Meerveld, H. J., McDonnell, J. J. (2006). Threshold relations in subsurfaces stormflow. *Water Resources Research*, 42. < W02411. <https://doi.org/10.1029/2004WR003800>>.
- Wang, C., Zhao, C. Y., Xu, Z. L., Wang, Y., Peng, H. H. (2013). Effect of vegetation on soil water retention and storage in a semi-arid alpine forest catchment. *Journal of Arid Land*, 5.
- Western, A. W., Grayson, R. B., Bloschi, G., Willgoose, G. R., McMahon, T. A. (1999). Observed spatial organization of soil moisture and its relation to terrain indices. *Water Resources Research*.
- Yang, L., Wei, W., Chen, L., Chen, W., Wang, J. (2014). Response of temporal variation of soil moisture to vegetation restoration in semi-arid Loess Plateau, China. *Catena*, 123-133.
- Yang, H., Mu, S., Li, J. (2014). Effects of ecological restoration projects on land use and land cover change and its influences on territorial NPP in Xinjiang, China. *Catena*, 115, 85-95.
- Yu, B., Liu, G., Liu, Q. (2018). Soil moisture variations at different topographic domains and land use types in the semi-arid Loess Plateau, China. *Catena*, 165, 125-132.
- Zimmermann, B., Papritz, A., Elsenbeer, H. (2010). Asymmetric response to disturbance and recovery: Changes of soil permeability under forest–pasture–forest transitions. *Geoderma*, 159, 209-215.

CAPÍTULO II – CAPACIDADE DE RETENÇÃO HÍDRICA DA SERAPILHEIRA EM FLORESTAS REGENERANTES.

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de analisar a Capacidade de Retenção Hídrica (CRH) dos diferentes componentes da serapilheira de fragmentos florestais em diferentes estágios de condução de regeneração natural no Bioma Cerrado: aos 46 anos (FA), 11 anos (FB) e 5 (FC) anos. A pesquisa foi desenvolvida ao longo de 12 meses em uma Reserva Particular de Patrimônio Natural localizada no município de Brotas – SP. A coleta de serapilheira foi realizada de forma aleatória com amostras independentes, e fracionadas em folhas, galhos e material amorfo. Calculou-se a CRH da serapilheira e a Retenção hídrica efetiva da serapilheira em condições de campo. Os dados foram submetidos a teste de normalidade e de homocedasticidade para o cálculo da ANOVA, e os testes que não atenderam os pressupostos foram submetidos ao teste não paramétrico Kruskal-Wallis. A diferença da porcentagem das diferentes frações (folhas, galhos e amorfo) foi maior em FB. Apenas FA e FB atenderam os pressupostos para ANOVA, sendo que apenas FA apresentou diferença estatística entre os meses ($p\text{-valor}=0,03$) e entre as frações ($p\text{-valor}=1.82e^{-5}$) a 95% de confiança. FC foi analisado pelo teste de Kruskal-Wallis, o qual apresentou diferença estatística entre os meses ($p\text{-valor}=0,0049$). Em FA a fração com maior CRH foi amorfo, já em FB a maior representatividade da CRH pela fração folhas, seguida de amorfo e por último galhos, sendo que em FA a magnitude da CRH foi maior. Apesar do FC apresentar a maior CRH total a retenção hídrica efetiva em campo se mostrou maior conforme o avanço da regeneração natural. A correlação entre a CRH dos diferentes fragmentos foi baixa, sendo a maior delas negativa a 14%. Através da correlação, podemos notar a influência inversamente proporcional da precipitação efetiva nos valores de CRH, mas vale salientar que a CRH depende ainda de demais fatores ecológicos como o tipo, idade, localização e espécie.

Palavras-chave: Restauração Florestal; Hidrologia Florestal; Interceptação da Serapilheira; Escoamento pelo Tronco.

ABSTRACT

This work aims to analyze the Water Retention Capacity (CRH) of the different litter components of forest fragments in different stages of conducting natural regeneration in the Cerrado Biome: at 46 years old (FA), 13 years old (FB) and 5 (FC) years. The research was developed over 12 months in a Private Reserve of Natural Heritage located in the municipality of Brotas - SP. The collection of litter was carried out randomly with independent samples, and divided into leaves, branches and amorphous material. The litter CRH and the effective water retention of litter under field conditions were calculated. The data were subjected to normality and homoscedasticity tests to calculate ANOVA, and tests that did not meet the assumptions were subjected to the Kruskal-Wallis nonparametric test. The difference in the percentage of different fractions (leaves, branches and amorphous) was greater in FB. Only FA and FB met the assumptions for ANOVA, and only FA showed a statistical difference between the months (p-value = 0.03) and between fractions (p-value = $1.82e^{-5}$) at 95% confidence. FC was analyzed using the Kruskal-Wallis test, which showed a statistical difference between the months (p-value = 0.0049). In FA, the fraction with the highest CRH was amorphous, whereas in FB, the largest representation of CRH was due to the leaf fraction, followed by amorphous and lastly branches, whereas in FA, the magnitude of the CRH was greater. Although the FC had the highest total CRH, the effective water retention in the field was shown to be greater as the natural regeneration progressed. The correlation between the CRH of the different fragments was low, the largest of which was negative at 14%. Through the correlation, we can notice the inversely proportional influence of the effective precipitation on the CRH values, but it is worth noting that the CRH still depends on other ecological factors such as type, age, location and species.

Keywords: Forest Restoration; Forest Hydrology; Litter Interception; Stemflow

1. INTRODUÇÃO

No balanço hídrico de um ecossistema, a chuva, ao atingir o dossel da floresta, é particionada e segue vários caminhos, dentre eles, a interceptação, precipitação interna e escoamento pelo tronco. Esses dois últimos constituem a porção da chuva que atinge o solo e interage com uma camada fronteira entre a superfície do solo e seu interior, conhecida como serapilheira. A serapilheira desempenha um papel crucial na interceptação e associação de precipitações e funções no processo de circulação de nutrientes e transmissão de energia no ecossistema. Corresponde à camada de material orgânico ou em decomposição presente na superfície do solo das florestas, sendo formada por uma infinidade de materiais, como folhas, galhos, flores, frutas, sementes e resíduos de animais. Sua composição varia com o ecossistema, idade e densidade da floresta, fatores abióticos e degradação da área (Piovesan et al. 2012, Santos et al. 2017).

Reconhecida como um bioindicador dos ecossistemas florestais, a camada de serapilheira é frequentemente subestimada nos projetos envolvendo o manejo de recursos hídricos (Voigt and Walsh, 1976, Dunkerley, 2015, Ilek et al. 2014), onde desempenha um papel essencial na conservação do solo e da água (Castillo et al. 2003, Wang et al. 2013) e nos demais processos hidrológicos na escala de gestão de bacias hidrográficas.

As interações entre chuva, floresta em pé e serapilheira na superfície do solo são motivo de preocupação para os hidrólogos florestais e outros interessados no particionamento e disposição das chuvas (Dunkerley, 2015). Na hidrologia florestal, a retenção de água na serapilheira é um importante indicador hidrológico (Dickow et al. 2012, Pinto e Negreiros, 2018), sendo sua capacidade de retenção de água dependente do desenvolvimento das espécies florestais, das estruturas horizontal e vertical e das condições de decomposição da serapilheira. A camada de serapilheira é capaz de alterar a quantidade de água disponível no solo tanto para a infiltração, como no escoamento superficial e, por isso, a capacidade de retenção hídrica da serapilheira se torna tão importante em estudos hidrológicos. Com seu efeito “esponja”, intercepta a água da chuva e protege o solo da precipitação direta, reduzindo o impacto da chuva e retarda ou elimina o escoamento superficial, possuindo, assim, efeitos na infiltração durante e após um evento de chuva (Giácomo et al. 2017).

Entre as diversas tipologias florestais, seja preservação, produção de madeira ou sistemas mistos, a estrutura, composição, tipos, quantidade e propriedades da serapilheira variam e acarretam alterações na função hidrológica da floresta. Além disso, a

serapilheira modifica os fluxos bidirecionais, a umidade e evaporação de água do solo (Matthews, 2005). Como resultado, a quantidade de serapilheira e suas propriedades hidrológicas podem ocasionar mudanças nas taxas de infiltração em uma bacia hidrográfica e por fim, afetar não apenas a qualidade da água, mas também o volume de água da bacia (Chen et al. 2018).

Diversos pesquisadores relatam que as florestas com reservas de serapilheira têm um efeito significativo em sua capacidade de retenção de água (Zagyvai-Kiss et al. 2019, Zhang et al. 2016). Para Alberts e Neibling (1994), o balanço hídrico da bacia hidrográfica é influenciado pela serapilheira, o que representa uma perda de água de 2 a 4 vezes a massa do ecossistema. Gomyo e Kuraji (2016) verificaram que a remoção de serapilheira resultou no aumento do pico de fluxo de uma bacia hidrográfica, particularmente durante eventos de inundação relativamente grandes. Estudos mais recentes acrescentaram evidências de um impacto substancial da serapilheira no orçamento hídrico nas plantações de *Eucalyptus* sp, matagal semiárido e floresta com uma camada substancial de serapilheira (Acharya et al. 2017, Chen et al. 2018). Para espécies de crescimento rápido como o eucalipto, Santos et al. (2017) relatam que essas análises são importantes para auxiliar o manejo dos sistemas de produção florestal, bem como a sustentabilidade do solo, da água e dos recursos nutricionais. Sendo assim, o estudo da função hidrológica da serapilheira no ciclo da água e no balanço hídrico de um ecossistema florestal é necessário e de grande importância (Zhou et al. 2018).

Por outro lado, quando se trata de áreas a serem recuperadas por florestas nativas ou mesmo o aprofundamento do conhecimento sobre a dinâmica da recuperação do solo e a conservação de processos hidrológicos em áreas degradadas, os estudos ainda são incipientes. A dinâmica da produção de serapilheira, sua estrutura e a relação com as propriedades hidrológicas dos ecossistemas florestais, bem como sua relevância no manejo da conservação da água, não foram ainda amplamente estudadas (Acharya et al. 2017, Zagyvai-Kiss et al. 2019). Assim, embora existam estudos publicados sobre a produção de serapilheira em ambientes diversos, não temos uma compreensão de como a capacidade de retenção hídrica da serapilheira se relaciona com a umidade do solo e fluxo percolado.

Assim, o objetivo deste trabalho foi identificar o comportamento da produção e capacidade de retenção hídrica de serapilheira em função de diferentes idades de regeneração natural.

2. MATERIAL E METODOLOGIA

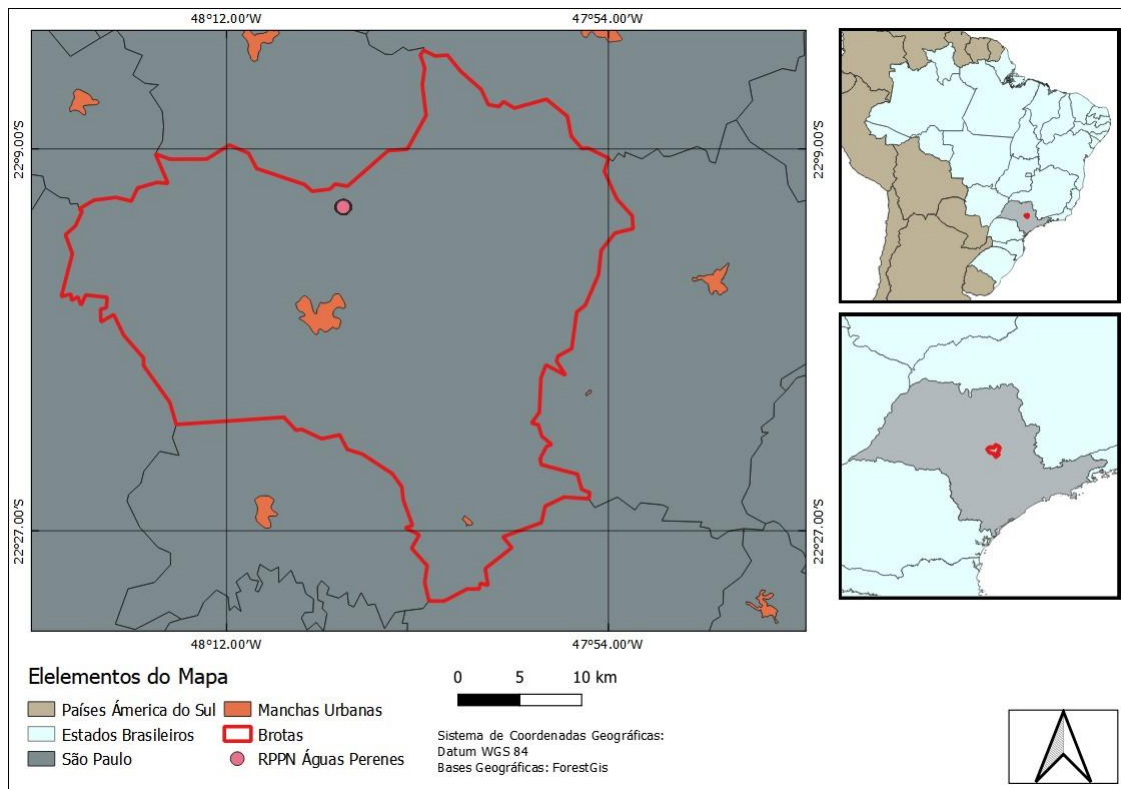
O estudo se desenvolveu na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Floresta das Águas Perenes situada, em Brotas – São Paulo/Brasil (Figura1), área de recarga hídrica do Aquífero Guarani. Em 2011, a área foi reconhecida pelo Forest Stewardship Council (FSC) como uma Floresta de Alto Valor de Conservação, com o objetivo de manter o Atributo de Alto Valor de Conservação 4 de Serviços Ambientais Críticos (International Paper, 2017, FSC Brasil, 2014), sendo esses, serviços ambientais básicos como a proteção de bacias hidrográficas. A RPPN se estende por mais de 809,78 ha de Cerrado, e sua fitofisionomia é caracterizada como vegetação secundária dos tipos Cerrado Típico e Cerradão (Bessi et al. 2018). Segundo Köppen/Geiger, a classificação climática de Brotas-SP é Cwa, com precipitação média anual de 1400 a 1500 mm (CEPAGRI, 2019, Bessi et al. 2018) A área se localiza na região de transição entre Neossolo quatzarênico e Latossolo vermelho-amarelo com textura Arenosa.

O estudo da capacidade de retenção de água da serapilheira foi realizado em três fragmentos florestais em diferentes estágios de condução de regeneração natural, sendo que o fragmento A (FA) está em regeneração à 46 anos, o fragmento B (FB) está em regeneração à 13 anos e o fragmento C (FC) à 5 anos (Figura 2). Os fragmentos são adjacentes uns aos outros, distantes à 80 metros, aproximadamente. Anteriormente à condução da regeneração natural, a área era utilizada para plantio de *Eucalyptus* sp.

Em cada fragmento foram instaladas 3 parcelas de 20m por 20m totalizando 400m² separadas por 10 metros lineares. O experimento foi conduzido de maio de 2018 a abril de 2019, onde os dados de precipitação em aberto, precipitação interna, escoamento pelo tronco e capacidade retenção hídrica da serapilheira foram monitorados mensalmente.

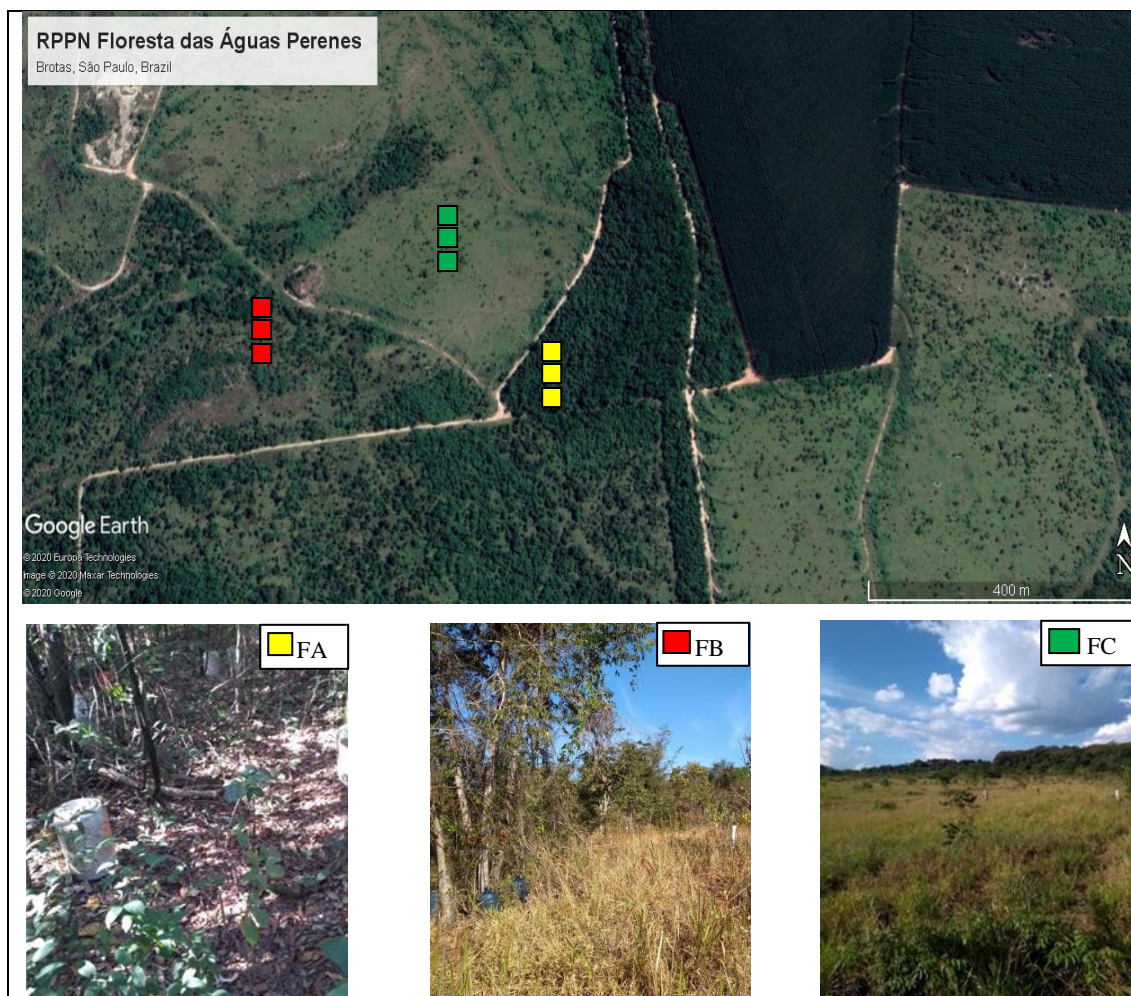
Nas parcelas, foram medidos o diâmetro do tronco (DAP) a 1,3 m de altura, a altura das árvores, a densidade do dossel e a densidade das árvores (Tabela 1).

Figura 1: Localização do município de Brotas – SP.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 2: Localização das parcelas e dos fragmentos: regeneração à 46 anos (FA), regeneração à 13 anos (FB) e regeneração à 5 anos (FC). Floresta das Águas Perenes, Brotas SP.



Fonte: O Autor, 2020

Tabela 1. Características dos fragmentos. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas – SP.

Fragmentos	Idade da regeneração (anos)	Diâmetro médio do tronco (cm)	Altura média (m)	Área média da copa (m ²)	Densidade de árvores (árvores.ha ⁻¹)
A	46	10,83	8,45	9,03	1408,3
B	13	11,75	6,12	12,84	225,0
C	5	12,89	5,1	22,06	16,7

Fonte: O Autor, 2020.

2.1. Precipitação em aberto e precipitação efetiva

A precipitação foi monitorada por pluviômetros instalados próximo ao local, com uma distância máxima de 30 m. Para impedir a entrada de folhas, insetos e pequenos

animais que pudessem interromper o fluxo da água e minimizar a evaporação da água, um funil foi colocado no topo dos pluviômetros. As precipitações foram calculadas pela equação:

$$P = \frac{V(mL)}{A(m^2)} \times 10 \quad (1)$$

Onde P é a precipitação (mm), V é o volume do pluviômetro (mL), e A é a área do pluviômetro (cm²).

Os pluviômetros foram instalados a uma altura de 1,20 m do solo, foi obtido informação de 25 pluviômetros distribuídos ao longo da área de estudo, a precipitação interna foi calculada pela equação:

$$Tf = \sum_{ni}^x \frac{[V \times 10]}{ni} \quad (2)$$

Onde Tf é a precipitação interna (mm), V é o volume do pluviômetro (mL), A é a área do pluviômetro (cm²), e ni é o número de pluviômetros.

O escoamento pelo tronco foi realizado em árvores com diâmetro na altura do peito (DAP) > 5 cm. As árvores foram envolvidas por uma calha de poliuretano, com base na metodologia proposta por Likens e Eaton (1970), fixada a 1,30m do solo. A água, que é drenada através da superfície da haste, é direcionada por uma mangueira de 5/8" para coletores de 20L. O escoamento pelo tronco foi obtido pela equação:

$$Sf = \frac{Vt}{K} \quad (3)$$

Onde Sf é o escoamento pelo tronco (mm), Vt é o total de volume coletado (L), e K é a projeção da área do dossel.

As amostras de precipitação, precipitação interna e escoamento pelo tronco foram medidas em campo usando um cilindro de medição de 1 L (com graduações de 0,5 L) ou balde graduado de 20 L (com graduações de 0,5 L).

A precipitação interna e o escoamento pelo tronco foram utilizados para o cálculo da precipitação efetiva através da soma destes.

2.2. Produção de Serapilheira

A camada de serapilheira estocada sobre a superfície do solo foi coletada mensalmente, por meio de um gabarito de 50 x 50 cm² (Xu et al. 2018), subdividido em 4 quadrantes (Figura 3a). A coleta foi realizada de forma aleatória com amostras independentes, coletando-se o material presente em apenas um quarto do gabarito,

resultando em uma amostra composta por 10 coletas em cada parcela, totalizando 3 amostras compostas por fragmento.

O material foi acondicionado em sacos plásticos e conduzido ao laboratório, onde o solo foi removido com auxílio de uma peneira e a serapilheira foi triada nas seguintes frações: galhos, folhas, órgãos reprodutivos e material amorfo (cascas, frutos, flores, órgãos reprodutores vegetais, sementes entre outros) (Figura 3b). Em seguida, as frações foram secas em estufa de circulação forçada de ar a 70°C, até atingirem massa seca constante, que foi determinada em balança de precisão 0,01 g. A estimativa da quantidade de serapilheira mensal e anual produzida, constitui-se da soma das frações. No caso do fragmento C, por ser uma área em estágio muito jovem de regeneração e possuir poucas árvores, seu material foi composto essencialmente por herbácea, o que impossibilitou o fracionamento da serapilheira total.

2.3. Capacidade de Retenção Hídrica (CRH)

A ‘capacidade de retenção hídrica’ foi utilizada para expressar a quantidade máxima de água que pode ser mantida na serapilheira (Li et al., 2018). A capacidade de retenção hídrica (CRH) foi avaliada pelo método desenvolvido por Blow (1955). Cada fração foi reidratada por imersão em água durante 90 minutos e, em seguida, depositada em peneiras e drenadas por 30 minutos, com posterior determinação da massa úmida (MU) em balança de precisão 0,01 g. Novamente, as frações foram secas em estufa de circulação forçada a 70 °C, até atingirem peso constante, e novamente pesadas para determinar suas massas secas (MS). Assim, a determinação da CRH foi obtida por:

$$CRH(\%) = \frac{(MU-MS)}{MS} \times 100 \quad (4)$$

Onde, *CRH* é a Capacidade de Retenção Hídrica (%), *MU* é a Massa Úmida (g), e *MS* é a Massa Seca (g).

2.4. Retenção hídrica efetiva da serapilheira em condições de campo

No sentido de se investigar a efetividade da retenção hídrica da serapilheira de cada fragmento em condições de campo, trabalhamos com a relação entre a massa fresca e a capacidade de retenção hídrica da serapilheira, obtendo-se assim a retenção hídrica efetiva da serapilheira (EHR, %), como segue:

$$EHR (\%) = \frac{M_f}{M_{sat}} * 100 \quad (5)$$

Onde, M_f = massa fresca (g), M_{sat} = massa saturada (g)

Figura 3: Gabarito utilizado na coleta (a) e triagem da serapilheira (b).



Fonte: O Autor, 2020.

Os dados foram submetidos ao teste de homocedasticidade das variâncias pelo teste de Bartlett e de normalidade pelo Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov), ambos foram processados pelo software R, em seguida foi realizada a análise de variância dos dados que apresentaram distribuição normal com teste de Tukey a 5% de significância nos que apresentaram diferença significativa. Dados que não atenderam aos pressupostos para ANOVA, foram submetidos ao teste não paramétrico de o qual também se procedeu no software R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

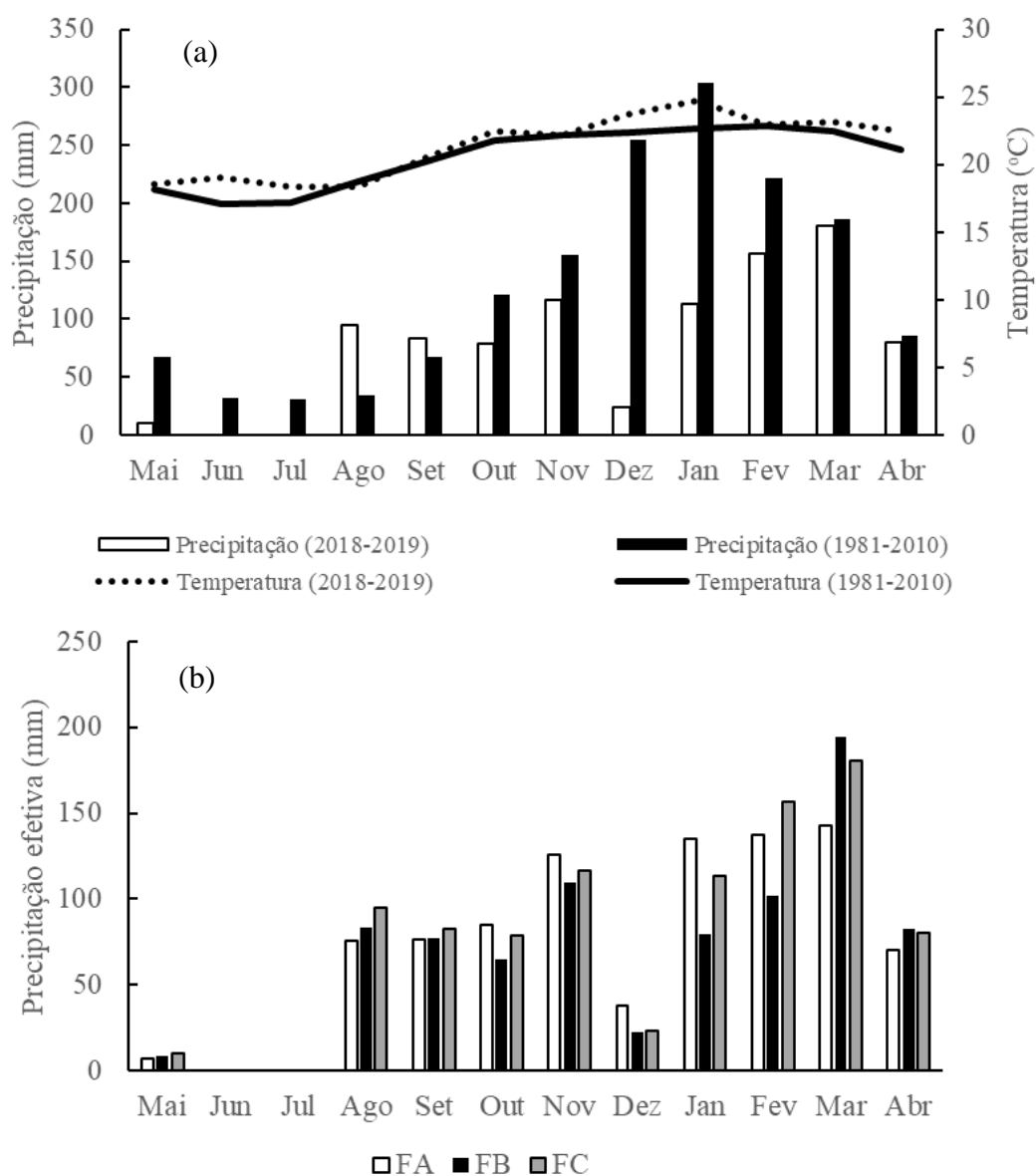
3.1. Precipitação em aberto e precipitação efetiva

A precipitação em aberto acumulada durante o período da pesquisa foi de 936,7 mm, 6,3% superior à chuva registrada para o mesmo período (877,8 mm) pela estação meteorológica oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020). Ao comparar o volume de chuva no local de pesquisa com a normal climatológica de 1981-2010, constatou-se ainda que o período de monitoramento foi um ano atípico, onde a chuva esteve cerca de 44% abaixo da média. A temperatura média foi de 21,6°C e esteve

superior em 5% ao registrado nas normais climatológicas (20,6°C), com maior temperatura média em dezembro (24,7°C) e a menor em julho (18,3°C) (Figura 4a).

Com relação à precipitação efetiva (PE), observou-se que FA e FB apresentaram 894,6 mm ano⁻¹ e 824,1 mm ano⁻¹, respectivamente, ou seja, 4,5% e 12% inferiores à precipitação em aberto. Já o fragmento C, sendo uma área muito jovem, quase sem indivíduos arbóreos, apresentou sua PE semelhante à precipitação em aberto (Figura 4b).

Figura 4. Precipitação acumulada e temperatura média do período 2018 à abril de 2019 e normais climatológicas (1981-2010) (a), Precipitação efetiva nos fragmentos (b).



Fonte: O Autor, 2020.

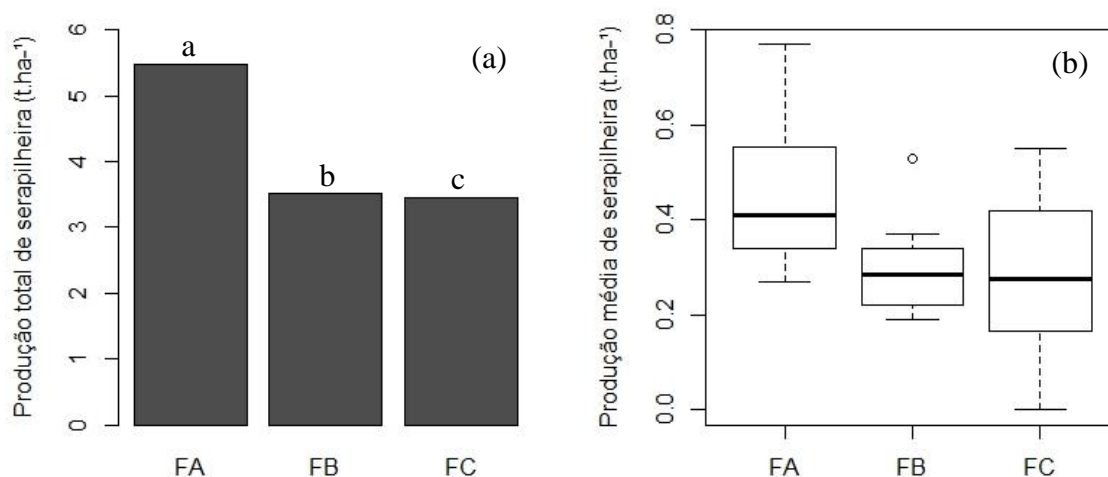
3.2. Produção e composição da serapilheira

O acúmulo de serapilheira é variável e depende da espécie, idade, sítio e da disponibilidade de nutrientes no solo (Paiva et al. 2015). No presente estudo, houve uma diferença significativa na massa total de serapilheira entre fragmentos e frações (p-valor <0,001). O total de serapilheira no período estudado foi 5,5 t.ha⁻¹ para FA, 3,5 t.ha⁻¹ para FB e 3,4 t.ha⁻¹ para FC (Figura 5).

A produção de serapilheira em FA está próximo ao observado por outros autores em ambientes tropicais com características semelhantes: Mateus et al. (2013) obtiveram 5,15 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em um fragmento florestal em restauração há 30 anos; Cianciaruso et al. (2006) em área de cerradão mesuraram 5,6 t.ha⁻¹.ano⁻¹; Ribeiro et al. (2017) encontrou 4,99 t.ha⁻¹.ano⁻¹ em Cerrado *sensu stricto*.

A maior produção de serapilheira em FA pode ser explicada pela alta densidade e diversidade de árvores (Tabela 1). A relação da estrutura da floresta com a queda, composição da serapilheira (Almeida et al. 2015) e produção de matéria orgânica, também foi observada por diversos autores (Borém e Ramos, 2002, Costa et al. 2010; Giácomo et al. 2012, Mateus et al. 2013, Paiva et al. 2015, Ribeiro et al. 2017). Paiva et al. (2015) atribuíram o total anual de serapilheira à maior fisionomia em função da estrutura da vegetação (6,3 t ha⁻¹ ano⁻¹) quando comparado à savana (3,5 t ha⁻¹ ano⁻¹), sendo encontrado nessa última valores próximos aos observados em FB e FC.

Figura 5: Produção total (a) e média (b) de serapilheira (t ha⁻¹ ano⁻¹) na floresta com 46 anos (FA), 12 anos (FB) e 8 anos (FC) de regeneração.



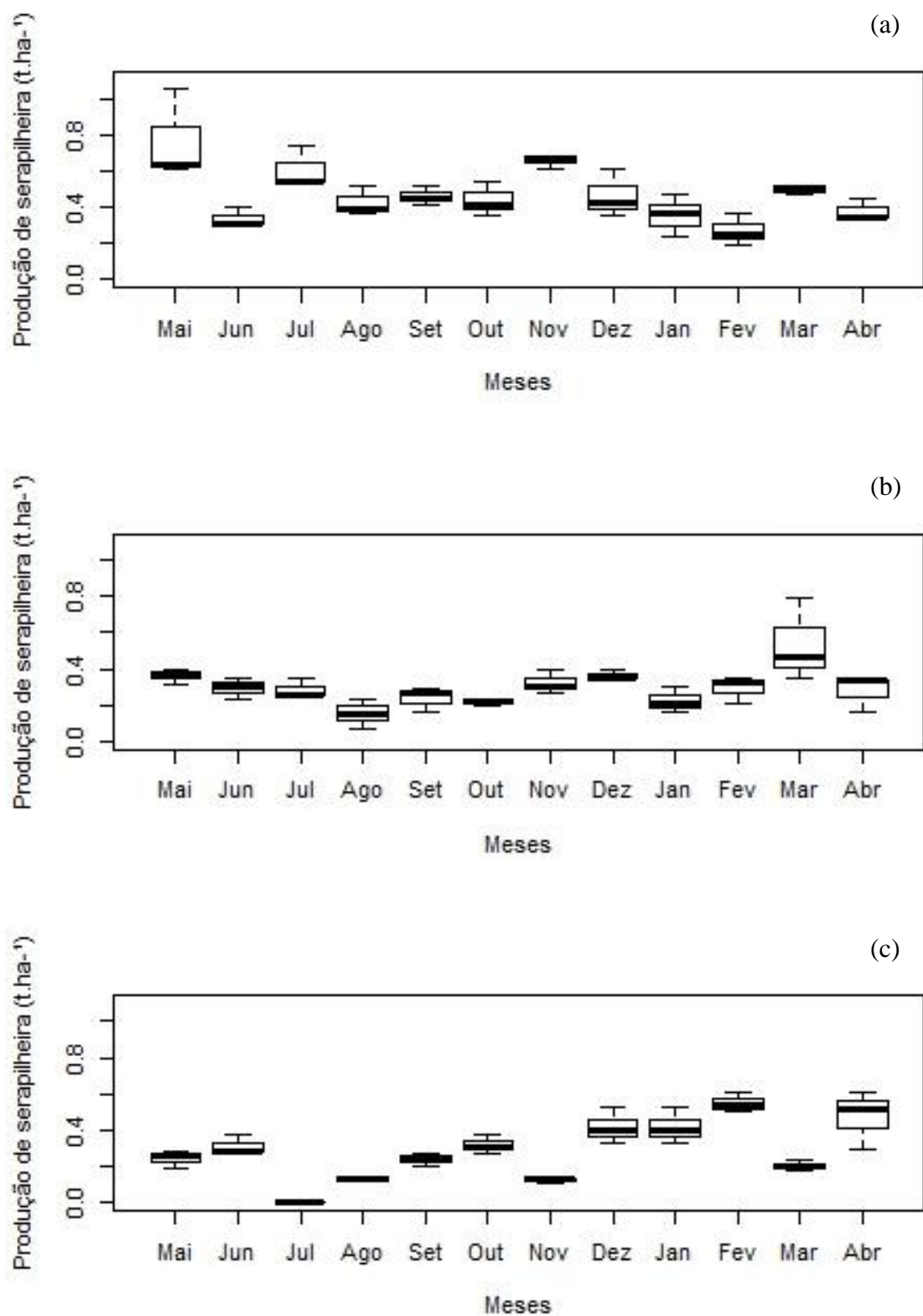
Embora numericamente próximos, a produção de serapilheira entre FB e FC se mostraram estatisticamente diferentes entre si e similares também aos valores observados por Mateus et al. (2013) em capoeira (idade estimada de 10 anos) e capoeirão (idade estimada de 15 anos), porém, diferentes do ambiente classificado por esses autores como pastagem perturbada (idade estimada de 6 anos). Essa comparação com Mateus et al. (2013) indica uma evolução da produção de serapilheira nos estágios sucessionais de FC (que se encontra em estágio inicial de regeneração) em relação à FB, muito embora em FC tenha se observado predominantemente colmos e hastes de gramíneas.

Ao comparar a produção média mensal de serapilheira nos fragmentos (Figura 6), a análise de variância de FA apresentou diferença estatística tanto entre os meses (p -valor $\leq 0,05$) quanto entre as frações (p -valor $\leq 0,001$). Para FB, a diferença estatística foi observada somente entre as frações (p -valor $\leq 0,001$). Esse comportamento pode estar relacionado às características das árvores neste estágio de regeneração com produção maior ou menor de material, mas também, ao fato da existência de gramíneas em FB. Como as gramíneas sobrevivem o ano todo, esse fato pode ter contribuído para a homogeneidade estatística entre os meses, da mesma forma que foi observado para a área em estágio inicial de regeneração (FC).

O mês de maior acúmulo de serapilheira em FA foi em maio ($0,77 \text{ t ha}^{-1}$), onde também se observou a menor temperatura ($18,3^{\circ}\text{C}$). Em contrapartida, para FB e FC, o maior acúmulo de serapilheira se deu respectivamente em março ($0,53 \text{ t ha}^{-1}$) e fevereiro ($0,55 \text{ t ha}^{-1}$), logo após o maior evento de precipitação efetiva registrado para o período, o que sugere que esses fragmentos possam ser mais sensíveis à disponibilidade hídrica e outros fatores climáticos, como a temperatura. Entre os meses de dezembro à março, houve o registro das maiores temperaturas para o período, com média de $23,7^{\circ}\text{C}$.

Uma variação da deposição de serapilheira em função da temperatura e da precipitação está associada a uma estratégia das plantas para controlar a perda de água por transpiração nos períodos mais quentes, com abscisão foliar, galhos e outros componentes da planta. (Sanches et al. 2008, Machado et al. 2015, Pereira et al. 2017). Kim et al. (2012) e Pereira et al. (2017) também mencionaram que na Amazônia, a maior produção de serapilheira nos períodos mais quentes está associada à renovação das folhas pelas árvores para melhor utilizar a radiação fotossinteticamente ativa, mesmo com pouca água disponível no solo.

Figura 6: Boxplot da Produção média de Serapilheira dos meses (a) FA (46 em regeneração), (b) FB (13 anos em regeneração e (c) FC (5 anos em regeneração).



Sendo a produção de serapilheira influenciada pelas taxas de precipitação (Neto et al. 2013), a correlação de Pearson indicou que em todos fragmentos esse processo está mais correlacionado com a precipitação efetiva do que com a precipitação em aberto (Tabela 2), apesar de se observar uma relação negativa em FA. De qualquer forma, nenhum fragmento apresentou significância estatística ($p > 0,05$).

Tabela 2. Correlação entre produção de serapilheira (PS), precipitação em aberto (P) e precipitação efetiva (PE) em FA (42 em regeneração), FB (09 anos em regeneração) e FC (8 anos em regeneração).

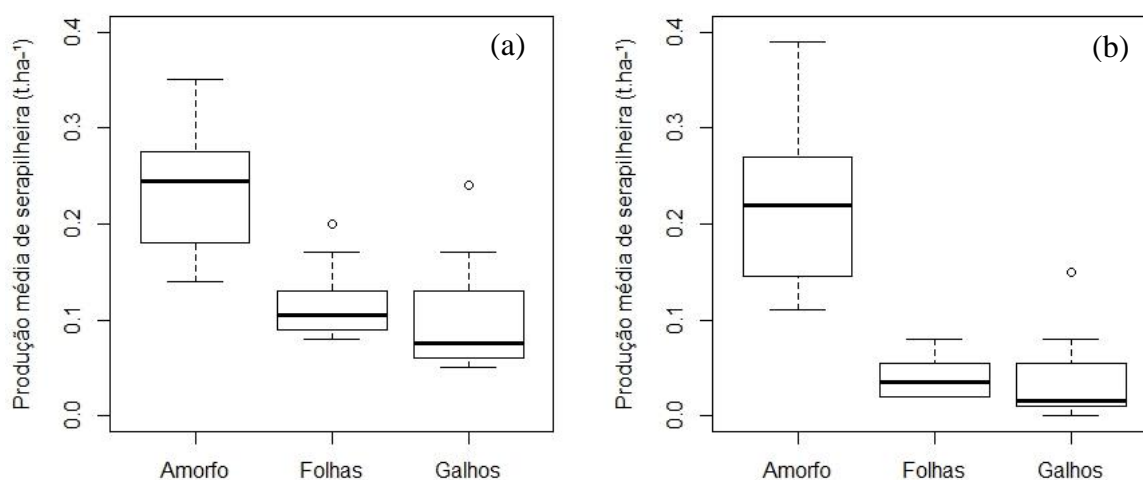
Fragmento	PS x P	PS x PE
FA	-0,28 ns	-0,28 ns
FB	0,21 ns	0,35 ns
FC	0,22 ns	0,22 ns

Fonte: O Autor, 2020.

3.3. Repartição da Serapilheira

Ao analisar as frações de serapilheira, na floresta mais madura (FA), os percentuais das frações apresentaram menor amplitude de variação, com menor intervalo de confiança ao longo do ano monitorado (54,1%-amorfo, 25,9%-folhas, 21,9%-galhos), ao passo que, em FB, somente a fração amorfo correspondeu à 75,2% do total da serapilheira (75,2%-amorfo, 14,0%-folhas, 12,8%-galhos) (Figura 7).

Figura 7: Repartição da serapilheira ($t\ ha^{-1}\ ano^{-1}$) em folhas, galhos e amorfo, na floresta com 46 anos (FA) e 13 anos (FB) de regeneração (a).



Fonte: O Autor, 2020.

O teste de Tukey a 95% confiança, mostrou que tanto em FA quanto em FB, a diferença entre folhas x amorfo e galhos x amorfo foram significativas, ao contrário da relação folhas x galhos ($p\text{-valor}>0,05$).

Diferentemente do que foi observado nesse estudo, diversos autores constataram que em diferentes ecossistemas florestais, a fração folhas corresponde a 60% ou mais da serapilheira total (Cianciaruso et al. 2006, Paiva et al. 2016, Schumacher et al. 2013). Em áreas de Cerradão e mata mesofílica. Giácomo et al. (2012) observaram, respectivamente, a fração foliar na serapilheira de 71,6% de folhas + 11,1% de galhos, e, 68,8% de folhas + 10,3% de galhos. Paiva et al., (2015) observou que 75% do total de serapilheira também correspondeu a fração foliar.

Santos et al. (2017), avaliaram a massa total de serapilheira em 15 clones de *Eucalyptus* sp no Brasil com 3 anos de idade e observaram que não houve diferenças significativas em relação ao estoque de serapilheira, sendo a média de acúmulo de 4,96 t.ha⁻¹, com um maior percentual de folhas. Os autores atribuíram o maior estoque de serapilheira à sua lenta decomposição, sendo esse um reflexo da elevada concentração de lignina nos tecidos foliares (Schumacher et al. 2013), que não favorecem os organismos edáficos decompositores, bem como do microclima desfavorável a esse processo, que ocorre nos plantios de espécies desse gênero, como altas temperaturas e baixa umidade (Melos et al. 2010). Xu et al. (2018) também atribuíram o maior acúmulo de serapilheira nas coníferas à dificuldade de decomposição devido à textura desse material, quando comparado à floresta de folhas perenes, mas verificou que as camadas semi decompostas foram maiores e relativamente fáceis de se decompor.

Assim, de forma geral, esses estudos apontam a folha como o principal componente da serapilheira aportada ao solo pelas espécies florestais, responsável pela maior parte do retorno de nutrientes via decomposição. Sendo o material classificado como amorfo, composto por folhas em decomposição, frutos e sementes, podemos inferir que, tanto em FA, mas de forma mais pronunciada em FB, o maior percentual do material amorfo seja resultado de um processo mais ativo de decomposição da serapilheira. Diante disso, a análise do fracionamento da serapilheira indica que FA e FB estão em evolução quanto ao processo de decomposição de serapilheira, fornecendo subsídios para a conservação e estabelecimento de práticas de manejo nesses ecossistemas.

3.4. Capacidade de Retenção Hídrica (CRH)

A capacidade de retenção hídrica da serapilheira total teve seu comportamento distinto entre os estágios de regeneração natural. As maiores médias de retenções hídricas da serapilheira foram encontradas para FC (394%), seguida de FA (224,6%) e por fim, FB (221,4%) (Figura 8). Ao analisar a distribuição da capacidade de retenção hídrica entre os meses, os maiores valores ocorreram em momentos distintos para cada área: em FA, a maior capacidade de retenção hídrica ocorreu em agosto (436,4%), em FB em junho (345,9%) e em FC, em novembro e dezembro (média de 847,7%), sendo nesse último, 3-4 vezes maior que a capacidade registrada para FA e FB nesse mesmo período (Figura 9). Esses valores não parecem coincidir com os registros de maior produção de serapilheira, mas sim com os eventos de precipitação efetiva. Ao retomarmos a Figura 4b, verifica-se que a maior capacidade de retenção hídrica de FA ocorre logo após dois meses consecutivos sem registro de chuva, ao passo que em FB, parece estar relacionada ao primeiro mês desse período. Em FC, a maior capacidade de retenção hídrica ocorreu após um aumento, seguido de 80% de queda na precipitação.

Ao analisar as frações de FA, a capacidade de retenção hídrica seguiu a ordem: amorfo (344,1%) > folhas (307,0%) > galhos (221,7%) (Figura 10). Em FB, uma floresta em estágio mais jovem de regeneração apresentou comportamento diferente, tanto no ordenamento quanto na magnitude, com valores inferiores à FA, assim sendo: folhas (290,4%) > amorfo (241,6%) e galhos (131,9%). Desse modo, entre FA e FB, nota-se que, de maneira geral, com o avanço da regeneração, a serapilheira mostrou maior capacidade de reter água, apesar de seus componentes possuírem ordem de retenção hídrica diferentes.

A propriedade da serapilheira reter água é dependente de sua constituição (folhas, galhos, amorfo, frutos, sementes, dentre outros), associada à granulometria de suas frações e, principalmente, ao seu estágio de decomposição da serapilheira, uma vez que pequenas partículas desse material apresentam maior superfície de contato e, portanto, absorvem mais água (Melos et al., 2010). Nesse sentido, no reparticionamento da capacidade de retenção hídrica, a fração amorfo seria a maior responsável entre as frações. Materiais menos decompostos apresentam menores capacidades para reter a umidade, fato ainda mais acentuado nos galhos, como foi observado nos dois ambientes analisados (Mateus et al. 2013, Santos et al. 2017). Devido à natureza lenhosa e maior presença de lignina, os galhos apresentam menor absorção, o que favorece o escoamento superficial,

sendo ainda potencializado pelo formato deste material (Santos et al. 2017, Montzuma 2005). Esse comportamento foi ainda discutido por Voigt e Walsh (1976) o qual relatam que a absorção depende de mais outros aspectos como variação da precipitação e temperaturas do ambiente.

Ao estudarem a CRH da serapilheira em plantios de *Eucalyptus* sp, Santos et al. (2017), encontraram o valor médio de 249,58%; Melos et al. (2010) obtiveram 235% em um plantio com híbrido de *E. urophylla* x *E. grandis* e Mateus et al. (2013) constataram uma maior CRH para a pastagem perturbada e abandonada (230%) em detrimento ao fragmento florestal nativo (206%), semelhante ao observado para este estudo, onde FC esteve maior que FA e FB.

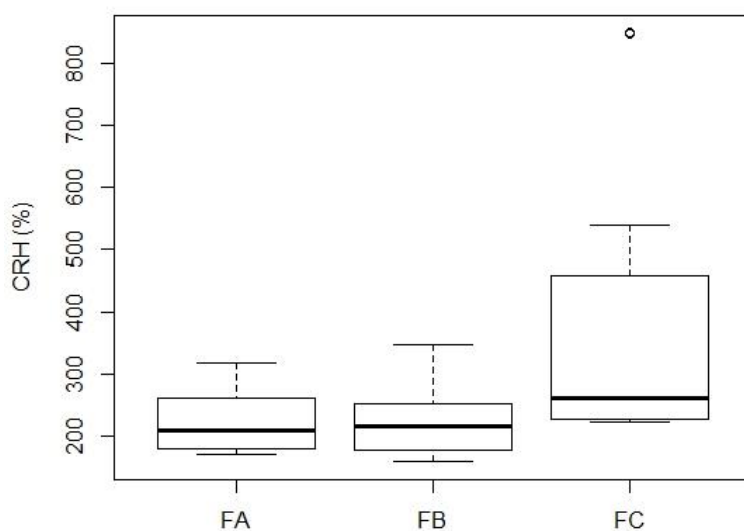
A maior capacidade de retenção hídrica registrada em FC, onde a serapilheira é predominantemente constituída por gramíneas (*Brachiaria* sp), pode estar atrelado ao tipo e à concentração de lignina no material vegetal depositado. A lignina é um elemento das células vegetais e possui como uma de suas características a hidrofobicidade (De Oliveira et al. 2017, Halpin, 2019, Yang e Pan, 2016). A sua presença no material vegetal varia com a espécie, sendo que as gramíneas apresentam menores concentrações de lignina que as leguminosas (Mowat et al. 1969), podendo, desse modo, favorecer o potencial de retenção hídrica em sua serapilheira. De acordo com Takada et al. (2020), as gimnospermas, por exemplo, possuem um alto teor de lignina de 25 a 30%, as angiospermas dicotiledôneas geralmente têm um teor médio de lignina de 20 a 25%, enquanto que as herbáceas (angiospermas monocotiledôneas), possuem um teor de lignina de 15–20%.

Nessa perspectiva, a maior capacidade de retenção hídrica em folhas ao invés do material amorfo em FB, pode ser justificada pela maior presença de folhas jovens, mais tenras e que naturalmente possuem menor teor de lignina, associada ainda, à presença de gramíneas. Ao comparar a capacidade de retenção hídrica em capoeiras, Mateus et al. (2013) encontrou valores próximos à 342%, resultado atribuído pelos autores, à quantidade de folhas da espécie *Clidemia arceolata*, sendo essa considerada uma espécie facilitadora da restauração florestal (Matsumoto, 1999). Os autores apresentam que, florestas como as capoeiras em fases iniciais de regeneração possuem espécies em desenvolvimento com folhas que auxiliam na retenção da umidade.

O teste de normalidade de Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) em FA e FB apresentou distribuição normal (p-valor= 0,066 e p-valor= 0,5991 respectivamente), ambos maiores que 0,05. Por outro lado, no fragmento C rejeita-se a hipótese da

distribuição normal (p -valor= 0,04442). O teste de Bartlett demonstrou não haver homocedasticidade das variâncias da CRH em relação aos meses (p -valor = 1,669e-07) e em aos fragmentos (p -valor = 5,05e-05). Portanto os dados de CRH não atenderam os pressupostos para a análise de variância pela ANOVA, sendo assim analisado através do teste de Kruskal-Wallis, no qual foi identificado diferença estatisticamente significativa entre as medianas dos fragmentos (p -valor <0,05). Apenas FA e FC apresentaram diferença estatística entre os meses. Quanto às frações, os dados da capacidade de retenção hídrica não atenderam aos pressupostos para análise ANOVA, portanto foram analisados através do teste Kruskal-Wallis, no qual demonstrou haver diferenças estatisticamente significativas entre as medianas das frações de FA e de FB (p -valor <0,05).

Figura 8: Capacidade de Retenção Hídrica da serapilheira total (%) na floresta com 46 anos (FA), 12 anos (FB) e 8 anos (FC) de regeneração.



Fonte: O Autor, 2020.

Figura 9: Boxplot da média da Capacidade de retenção hídrica da serapilheira (CRH) mensal em (a) FA, (b) FB e (c) FC.

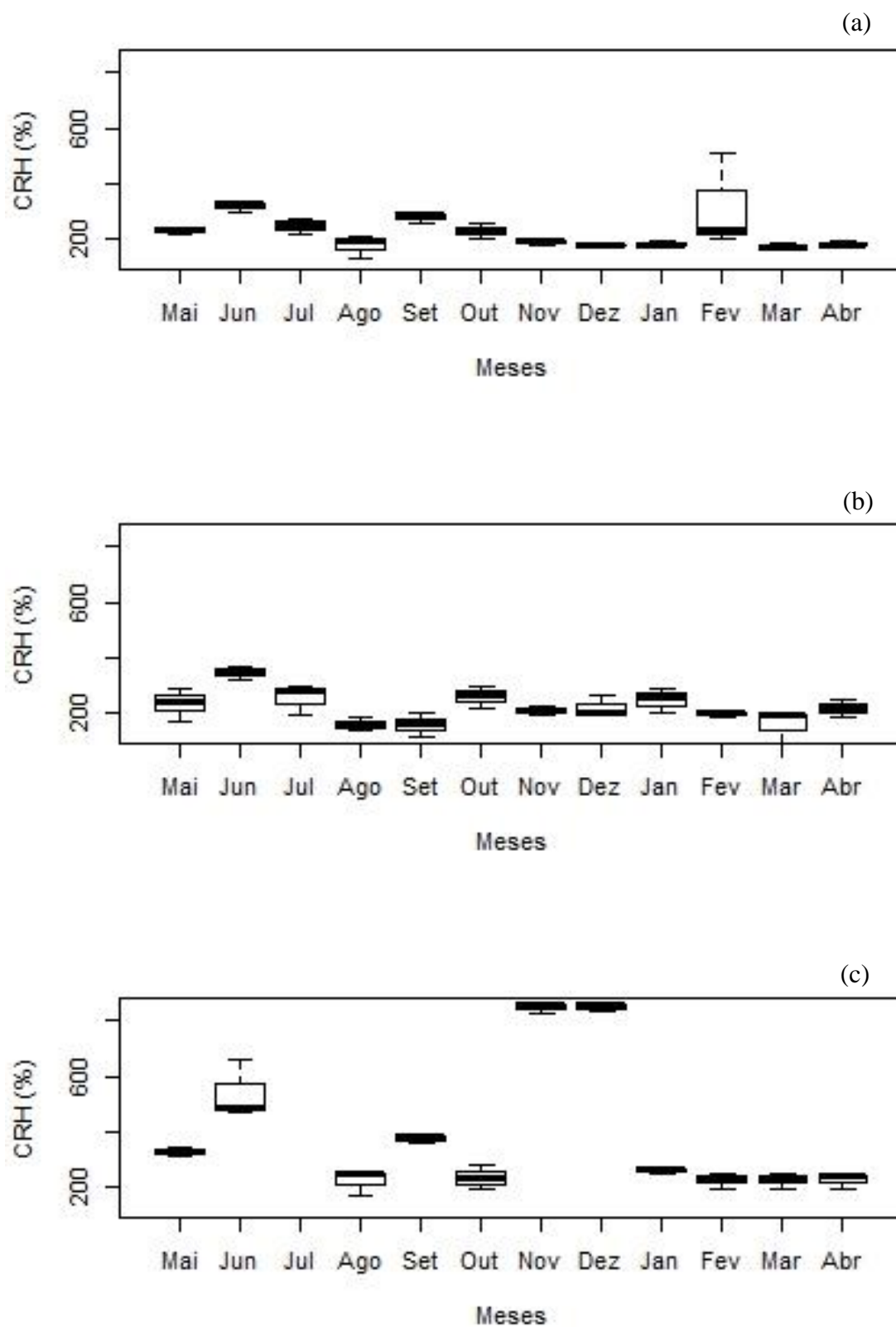
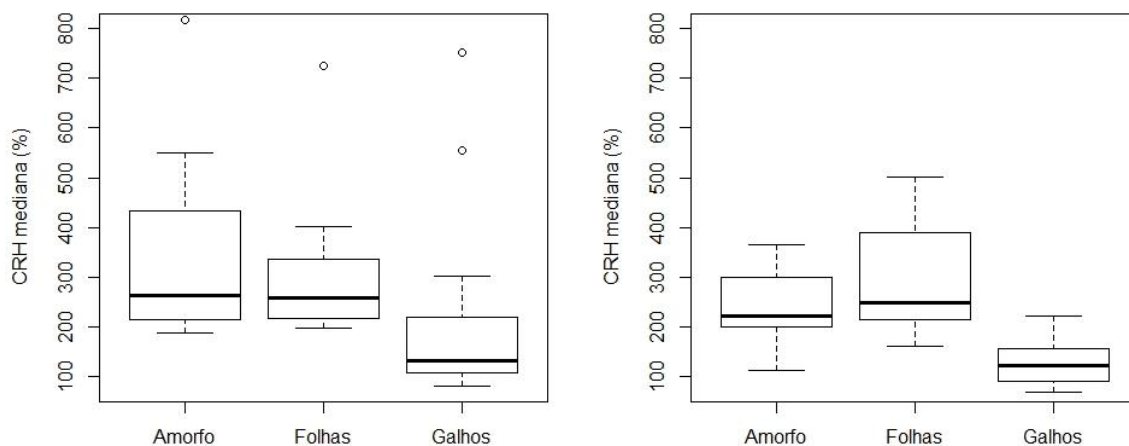


Figura 10. Capacidade de retenção hídrica (CRH) mediana de serapilheira para os Fragmentos A (a) e B (b) nas frações (Amorfo; Folha; Galho). (a) (b)



Fonte: O Autor, 2020.

3.5. Retenção hídrica efetiva da serapilheira em condições de campo

É importante destacar que a capacidade de retenção hídrica da serapilheira reflete apenas a condição de retenção de água no estado ideal. De acordo com Li et al. (2018), a capacidade de retenção hídrica é maior que a capacidade real de interceptação da serapilheira e não reflete a capacidade da serapilheira de interceptar a chuva em condições de campo.

Dessa forma, ao analisar a média anual de retenção hídrica da serapilheira em campo por meio da relação entre a massa fresca e a massa saturada, temos que a retenção hídrica efetiva da serapilheira aumenta com a evolução do desenvolvimento do estágio sucessional. FA e FB foram semelhantes e diferiram do fragmento em estágio inicial (FC). Isso significa que, na prática, FA e FB retiveram mais água em sua serapilheira (FA = 54% e FB = 53%) embora a capacidade de retenção hídrica tenha sido menor nesses ambientes quando comparados à FC. Este, por sua vez, reteve 45% da sua capacidade.

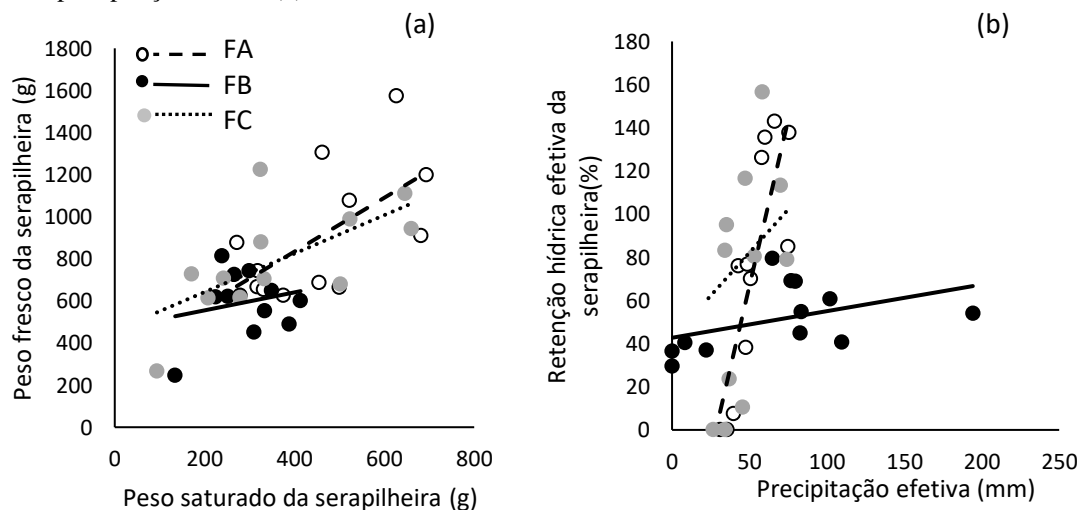
Ao correlacionar ainda a razão entre massa fresca e saturada com a precipitação efetiva, verificou-se que ela é significativa ($p < 0.05$) e é maior conforme o estágio de regeneração avança: em FA (83%) > FB (44%) > FC (22%). Esse comportamento reforça a melhor eficiência da serapilheira em reter água com o amadurecimento da regeneração natural da floresta em condições de campo, mesmo sua capacidade ideal de retenção de água sendo menor.

Isso ocorre pela interação da serapilheira com diversos fatores meteorológicos do ambiente como radiação, temperatura, umidade do ar e vento. Com o amadurecimento da regeneração natural, há uma maior cobertura do dossel, e menor incidência de radiação dentro da floresta. Nessa mesma área de estudo, Bessi et al. (2018) constataram que com o incremento da área basal e densidade da floresta ($FC < FB < FA$), houve uma diminuição da intensidade de luz dentro do fragmento ($FC > FB > FA$).

O vento, umidade e a temperatura do ar também desempenham um papel fundamental nos ecossistemas e no ciclo da água, pois afetam fortemente as taxas de evapotranspiração. A demanda evaporativa da atmosfera aumenta com o incremento da temperatura, impulsionando as taxas de evapotranspiração. Na literatura, diferentes estudos mostraram que a evapotranspiração é amplamente afetada por esses fatores (Anderson et al., 2017, Gaertner et al., 2019, Liuzzo et al., 2016, Tonello e Teixeira Filho, 2011).

Assim, embora a capacidade de retenção hídrica seja maior em FC, a taxa de evaporação de água nesse ambiente é maior. Em situações como se encontra FC, mais caracterizado como um campo aberto, há maior incidência de radiação, maior temperatura e menor umidade relativa do ar, impulsionando um maior déficit de pressão da atmosfera e, portanto, maiores taxas de evapotranspiração. O vento por sua vez, por ser um campo aberto, é uma constante no FC. Desse modo, esses fatores podem justificar a menor permanência de água, ou menor retenção hídrica efetiva de água, na serapilheira do fragmento em estágio inicial de regeneração.

Figura 11. Relação o peso fresco e saturado da serapilheira (a) e Retenção hídrica efetiva da serapilheira em função da precipitação efetiva (b).



3.6. Correlações entre Capacidade de retenção hídrica (CRH) e Precipitação

Através da correlação de Pearson, podemos observar que a propriedade da CRH da serapilheira teve a maior correlação com a precipitação em aberto (P) em FA ($r^2 = -0,37$), já em FB a maior correlação foi com a precipitação efetiva ($r^2 = -0,79$) e em FC, a precipitação efetiva e em aberto apresentaram a mesma correlação com a CRH ($r^2 = -0,49$) (Tabela 3). Em todos os fragmentos, a correlação de CRH com as precipitações foi inversamente proporcional, ou seja, quanto maior a P, PI e PE menor será a propriedade de CRH. Assim, a CRH será maior quando a floresta está mais seca, devido a menor precipitação efetiva, podendo ser explicado através da porcentagem de massa da serapilheira que possui maior espaço para receber moléculas de água, podendo reter maior umidade.

Tabela 3. Correlação de Pearson entre variáveis ambientais no fragmento A (FA). Capacidade de retenção hídrica (CRH), Precipitação em aberto (P), e Precipitação efetiva (PE).

FA	CRH	PE	P	FB	CRH	PE	P	FC	CRH	PE	P
CRH	1,0	-	-	CRH	1,0	-	-	CRH	1,0	-	-
PE	-0,298	1,0	-	PE	-0,792	1,0	-	PE	-0,491	1,0	-
P	-0,368	0,944	1,0	P	-0,750	0,958	1,0	P	-0,491	1,0	1,0

Fonte: O Autor, 2019.

Entretanto, a correlação de CRH com as precipitações em FA não foram fortes, isso provavelmente ocorre devido a floresta em estágio mais avançado de regeneração, ter menor dependência de fatores externos para manter seu interior úmido, em função de seu dossel ser mais fechado e de sua estrutura mais densa. Já FB teve a maior correlação de CRH com a precipitação ($r^2 = -0,79$), fato este provavelmente devido a sua estrutura estar ainda em formação. É uma área menos densa, com menos indivíduos arbóreos e menos diversidade também, ficando muito mais exposta às variáveis climáticas do que FA. Já FC, demonstrou uma correlação média ($r^2 = -0,49$) e exatamente igual tanto em P, quanto em PE, podendo estar relacionado à sua jovialidade, sendo praticamente isento de indivíduos arbóreos, ou seja, sua característica é de campo aberto com gramíneas.

Este trabalho enfoca fragmentos florestais em situação de regeneração natural em área de interesse internacional na conservação de recursos hídricos. Nesse contexto, estudos de hidrologia de serapilheira, como este, são extremamente importantes para subsidiar ações e embasar discussões acerca da hidrologia florestal. Porém, nota-se a

iminente necessidade de se realizar maiores pesquisas em florestas nativas e relacionar o efeito da recuperação de áreas degradadas com a recuperação hídrica do solo.

4. CONCLUSÃO

A produção de serapilheira foi maior conforme houve o amadurecimento do processo de regeneração natural. Contudo, a composição desse material variou de acordo com cada ambiente. A capacidade de retenção hídrica da serapilheira esteve de 3 a 4 vezes maior no fragmento em estágio inicial de regeneração. Apesar disso, a retenção hídrica efetiva da serapilheira, em condições de campo, aumentou do fragmento em regeneração natural mais jovem para o mais maduro, sendo a floresta mais madura mais eficiente nesse processo, e apresentando uma maior correlação com a chuva que atinge o piso florestal. Apenas FA apresentou diferença estatística entre as frações, de modo que somente as frações folhas e amorfo não apresentaram diferenças estatística.

Através da correlação, podemos notar a influência inversamente proporcional da precipitação efetiva nos valores de CRH. Entretanto, vale salientar que a CRH depende ainda de demais fatores ecológicos como o tipo, idade, localização, espécies, entre outras. Sendo assim, o desenvolvimento da regeneração florestal, apesar de ser um processo lento, vem desempenhando um papel fundamental para a manutenção hídrica do solo por intermédio da serapilheira no bioma Cerrado.

REFERÊNCIAS

- Acharya, B. S., Stebler, E., Zou, C. B. (2017a). Monitoring litter interception of rainfall using leaf wetness sensor under controlled and field conditions. *Hydrol. Process.* 31, 240–249.
- Acharya, B. S., Hao, Y., Oschsner, T. E., Zou, C. B. (2017b). Woody plant encroachment alters soil hydrological properties and reduces downward flux of water in tallgrass prairie. *Plant and Soil.* 414, 379-391.
- Albert, E. E., Neibling, W. H. (1994). Influence of crop residues on water erosion. Em P. W. Unger, *Managing agricultural residues.* 19-36.

- Almeida, S. K., Martins, V. S., Miranda, N. A., Campos, W. H. (2015). Semeadura direta com transposição de serapilheira como metodologia de restauração ecológica. *Revista Árvore*, 39, 811-820.
- Balieiro, F. C., Franco, A. A., Pereira, M. G., Campello, E. C., Dias, L. E., Faria, S., Rodrigues, B. J. (2004). Dinâmica da serapilheira e transferência de nitrogênio ao solo em plantios de *Pseudosamanea guachapele* e *Eucalyptus grandis*. *Pesq. agropec. bras.* 39, 597-601.
- Bessi, D., Tanaka, M. O., Costa, L. A., Correa, C. P., Tonello, K. C. (2018). Restauração Florestal e os efeitos dos parâmetros hidrológicos nas condições hídricas do solo: Uma abordagem usando modelos de equações estruturais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2318-0331.
- Blow, F. E. (1955). Quantity and Hydrologic characteristics of litter under Oak forests in Eastern Tennessee. *Journal of Forestry*, 53, 190-195.
- Borém, R. A. T., Ramos, D. P., (2002). Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento de mata Atlântica. *Cerne* 8, 42-59.
- Castilho, V. M., Gómez-Plaza, A., Martínez-Mena, M. (2003). The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments. A simulation approach. *Journal of Hydrology*, 284, 114-130.
- CEPAGRI. (2019). Acesso em jun de 2019, disponível em Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas na Agricultura: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>
- Chen, S., Cao, T., Tanaka, N., Gao, T., Zhu, L., Zou, C. B. (2018). Hydrological properties of litter layers in mixed forests in Mt. Qinling, China. *IForest* 11, 243-250.
- Chen, X., Chen, H. Y. H. (2018). Global effects of plant litter alterations on soil CO₂ to the atmosphere. *Global Change Biology*. 24.
- Cianciaruso, M. V., Pires, J. S., Delitti, W. B. C., Da Silva, É. F. L. P. (2006). Produção de serapilheira e decomposição do material foliar em um cerradão na Estação Ecológica de Jataí, município de Luiz Antônio, SP, Brasil. *Acta Bot. Bras.*, 20, 49-59.
- Costa, C. C., Camacho, R. G. V., Macedo, I. D., Silva, P. C. M. (2010). Análise comparativa da produção de serapilheira em fragmentos arbóreos e arbustivo em área de Caatinga na Flona de Aço-RN. *R. Árvore*, 34, 259-265.

- De Oliveira, D. M., Finger-Teixeira, A., Freitas, D. L., Barreto, G. E., Lima, R. B., Soares, A. R., Ferrarese-Filho, O., Marchiosi, R., Santos, W. D. dos. (2017). Phenolic Compounds in Plants: Implications for Bioenergy, in: M.S. Buckeridge, A.P.D.S. (Ed.), *Advances of Basic Science for Second Generation Bioethanol from Sugarcane. Springer International Publishing*. 39–52.
- Dickow, K. M. C., Marques, R., Pinto, C. B., Hofer, H. (2012). Produção de serapilheira em diferentes fases sucessionais de uma floresta subtropical secundária, em Antonina, PR. *Cerne*, 18, 75-86.
- Du, J., Niu, J., Gao, Z., Chen, X., Zhang, L., Li, X., van Doorn, N.S., Luo, Z., Zhu, Z., (2019). Effects of rainfall intensity and slope on interception and precipitation partitioning by forest litter layer. *Catena* 172, 711–718.
- Dunkerley, D. (2015) Percolation through leaf litter: What happens during rainfall events of varying intensity? *Journal of Hydrology (Amsterdam)*, 525, 737-746.
- Francis, A., Santos, A., Carlos, A., Carneiro, P., Tyszka Martinez, D., Caldeira, S.F., (2017). Capacidade de Retenção Hídrica do Estoque de Serapilheira de Eucalipto Eucalyptus Litter Capacity of Stock and Water Retention. *Floresta e Ambient*. 24. e20150303.
- FSC Brasil. (2014). Avaliação de plantações florestais na República Federativa do Brasil: Padrão Harmonizado entre as Certificadoras. *FSC*, São Paulo.
- Giácomo, R. G., Alves, M. C., Camara, R., Pereira, M. G., de Arruda, O. G., Souto, S. N., de Moraes, M. L. T., (2017a.) Litterfall and nutrient input in a degraded area. *Floresta e Ambient*. 24. e20160028.
- Giácomo, R. G., Pereira, M. G., Machado, D. L., (2012). Aporte e decomposição de serapilheira em áreas de cerradão e mata mesofítica na estação ecológica de Pirapitinga – MG. *Ciência Florest*. 22, 669–680.
- Giácomo, R. G.; Pereira, M. G.; Silva, C. F.; Gaia-Gomes, J. H. (2017b). Deposição de serapilheira e carbono em plantios de Sabiá, Andiroba e floresta secundária. *Floresta*. 47, 187-196.
- Gomyo, M., Kuraji, K. (2016). Effect of the litter layer on runoff and evapotranspiration using the paired watershed method. *Journal of Forest Research*. 21, 306-313.
- Halpin, C., (2019). Lignin engineering to improve saccharification and digestibility in grasses. *Curr. Opin. Biotechnol*. 56, 223–229.

- Ilek, A., Kucza, J. (2014) A laboratory method to determine the hydraulic conductivity of mountain forest soils using undisturbed soil samples. *Journal of Hydrology*, 519, 1649-1659.
- Ilek, A., Kucza, J., Szostek, M. (2015). The effect of stand species composition on water storage capacity of the organic layers of forest soils. *Eur. J. For. Res.* 134, 187–197.
- INMET, (2020) Dados históricos. BDMEP. Disponível em: "<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>". Acesso em 04.2020.
- International Paper. (2017). *Resumo Publico - Plano de Manejo*.
- Kim, Y., Knox, R. G., Longo, M., Medvigy, D., Hutrya, L. R., Pyle, E. H., Wofsy, S. C., Bras, R. L., Moorcroft, P. R. (2012). Seasonal carbon dynamics and water fluxes in Amazon rainforest. *Global Change Biology*. 18, 1322-1334.
- Li, W., Li, Y., Long, M., Li, X., (2018). Study on Water-holding Properties of Litters in Different Types of Forests of Yuntaishan Mountain Area in Shibing County, Guizhou Province. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 394.
- Li, Y., Liu, J., Zhou, G., Huang, W., Duan, H., (2016). Warming effects on photosynthesis of subtropical tree species: A translocation experiment along an altitudinal gradient. *Sci. Rep.* 6, 1–14.
- Likens, G. E., Eaton, J. E. (1970). A Polyurethane Steamflow Collector for trees and shrubs. *Ecology*, 51, 938-939.
- Liu, W., Luo, Q., Lu, H., Wu, J., Duan, W. (2017). The effect of litter layer on controlling surface runoff and erosion in rubber plantations on tropical mountain slopes, SW China. *Catena* 149, 167–175.
- Machado, D. L., Pereira, M. G., Correia, M. E. F., Diniz, A. R., Santos L. L. dos., Menezes, C. E. G. (2015). Ciclagem de nutrientes em diferentes estágios sucessionais da mata atlântica na bacia do Rio Paraíba do Sul, RJ. *Bioscience Journal*, 31, 1222-1237.
- Mateus, F. A., Miranda, C. C., Valcarcel, R., Figueiredo, P. H. A. (2013). Estoque e capacidade de retenção hídrica da serrapilheira acumulada na restauração florestal de áreas perturbadas na Mata Atlântica. *Floresta e Ambiente*. 20, 336-343.
- Matthews, S. (2005). The water vapour conductance of Eucalyptus litter layers. *Agricultural and Forest Meteorology*, 135, 73-81.

- Matsumoto, K. (1999). A família Melastomataceae nas formações campestres de Carrancas. *Unicamp*.
- Melos, A. R., Sato, A. M., Netto, A. L. C. (2010). Produção, estoque e retenção hídrica da serrapilheira em encosta sob plantio de híbridos de eucalyptus urophylla e eucalyptus grandis: Médio vale do rio paraíba do sul. *Anu. do Inst. Geociencias* 33, 66–73.
- Miranda, J. C. (1992). Interceptação das chuvas pela vegetação florestal e serrapilheira nas encostas do Maciço da Tijuca: Parque Nacional da Tijuca. *IGEO/UFRJ*, Rio de Janeiro.
- Montezuma, R. C. (2005). Produção e reabilitação funcional do piso florestal em clareira d edeslizamneto - Parque Nacional da TIjuca. *Universidade Federal do Rio de Janeiro*, Rio de Janeiro.
- Mowat, D. N., Kwain, M. L., Winch, J. E. (1969). Lignification and in vitro cell wall digestibility of plants parts. *Can. J. Plant Sci.* 49, 499–504.
- Neris, J., Tejedor, M., Rodríguez, M., Fuentes, J., Jiménez, C. (2013). Effect of forest floor characteristics on water repellency, infiltration, runoff and soil loss in Andisols of Tenerife (Canary Islands, Spain). *Catena* 108, 50–57.
- Neto, F. V., Leles, P. S., Pereira, M. G., Bellumath, V. G., Alonso, J. M. (2013). Acúmulo e decomposição da serapilheira em quatro formações florestais. *Ciência Florestal*, 23, 379-387.
- Paiva, A. O., Silva, L. C. R.; Haridasan, M. (2015) Productivity-efficiency tradeoffs in tropical gallery forest savanna transitions: linking plant and soil process through litter input and composition. *Plant Ecology*, 216, 775-787.
- Park, A., Friesen, P., Serrud, A. A. S, (2010). Comparative water fluxes through leaf litter of tropical plantation trees and the invasive grass *Saccharum spontaneum* in the Republic of Panama. *J. Hydrol.* 383, 167–178.
- Pereira, N. D., Martins, W. B. R., de Andrade, V. M. S., Oliveira, F. d. A. (2017). Influência da remoção de serapilheira no teor de fósforo e potássio na Amazônia Oriental. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*. 12, 380-385.
- Pinto, W. J.; Negreiros, A. B. de A. (2018). A Serapilheira como bioindicador de qualidade ambiental em fragmentos de Eucalyptus. *Revista Continentes*. 7, 175-202.
- Piovesan, G., Schumacher, M. V., Vieira, M., Lopes, V. G., Welter, C. (2012). Deposição de serapilheira em povoamento de pinus. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 42.

- Ribeiro, F. P., Bussinguer, A. P., Hodecker, B. E. R., Gatto, A. (2017). Conteúdo de nutrientes na serapilheira em três fisionomias do Cerrado do Distrito Federal. *Pesqui. Florest. Bras.* 37, 465–473.
- Sanches, L., Valentini, C. M. A., Pinto Júnior, O. B., Nogueira, J. S., Vourlitis, G. L., Biudes, M. S., Silva, C. J. da., Bambi, P., Lobo, F. A. (2008). Seasonal and interannual litter dynamics of a tropical semideciduous forest of the southern Amazon Basin, Brazil. *Journal of Geophysical Research.* 113, 1-9.
- Santos, A. A., Carneiro, A. P., Martinez, D. T., Caldeira, S. F. (2017). Capacidade de Retenção Hídrica do Estoque de Serapilheira de Eucalipto. *Floram - Floresta e Ambiente.* 24, 1-9.
- Santos, J. H., Ferreira, R. L., Silva, J. A., Souza, A. L., Santos, E. S., Meunier, I. M. (2004). Distinção de grupos de espécies florestais por meio de técnicas multivariadas. *Revista Árvore*, 28, 387-396.
- Schumacher, M. V., Brun, E. J., Hernandez, J. I., König, F. G. (2004). Produção de serapilheira em uma floresta de *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze no município de Pinhal Grande-RS. *Rev. Árvore* 28, 29–37.
- Schumacher, M. V., Correa, R. S., Vieira, M., Araujo, E. F. (2013). Produção e decomposição de serapilheira em um povoamento de *Eucalyptos urophylla* x *Eucalyptos globulus maidenii*. *Cerne*, 19, 501-508.
- Seeger, M., Errea, M. P., Beguería, S., Arnáez, J., Martí, C., García-Ruiz, J. M. (2004). Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small headwater catchment in the Spanish pyrenees. *J. Hydrol.* 288, 299–311.
- Takada, M., Chandra, R., Wu, J., Saddler, J. N. (2020). The influence of lignin on the effectiveness of using a chemithermomechanical pulping based process to pretreat softwood chips and pellets prior to enzymatic hydrolysis. *Bioresour. Technol.* 302, 122895.
- Tongkaemkaew, U., Sukkul, J., Sumkhan, N., Panklang, P., Brauman, A., Ismail, R. (2018). Litterfall, litter decomposition, soil macrofauna, and nutrient content in rubber monoculture and rubberbased agroforestry plantations. *For. Soc.* 2, 138–149.
- Vallejo, L. R. (1982). A influência do "litter" na distribuição das águas pluviais. Instituto de Geociências *UFRJ*, Rio de Janeiro.

- Voigt, Von P., Walsh, R. P. D. (1976). Hidrologische prozesse in bodenstreu. Einige experimentelle befunde. *Schr. Naturw, Ver. Schlesw.* 35-54.
- Wang, C., Zhao, C. Y., Xu, Z. L., Wang, Y., Peng, H. H. (2013). Effect of vegetation on soil water retention and storage in a semi-arid alpine forest catchment. *Journal of Arid Land.* 5, 207-2019.
- Walsh, R. P. D., Voigt, P. J. (1977). Vegetation Litter: An Underestimated Variable in Hydrology and Geomorphology. *J. Biogeogr.* 4, 253.
- Xu, S., Li, P., Sayer, E. J., Zhang, B. Wang, J., Qiao, C., Peng, Z., Diao, L., Chi, Y., Liu, W., Liu, L. (2018). Initial Soil Organic Matter Content Influences the Storage and Turnover of litter, root and soil carbon in grasslands. *Ecosystems*, 21, 1377-1389.
- Yang, Q., Pan, X. (2016). Correlation between lignin physicochemical properties and inhibition to enzymatic hydrolysis of cellulose. *Biotechnol. Bioeng.* 113, 1213–1224.
- Zagyvai-Kiss, K. A., Kalicz, P., Szilágyi, J., Gribovszki, Z. (2019). On the specific water holding capacity of litter for three forest ecosystems in the eastern foothills of the Alps. *Agricultural and Forest Meteorology.* 278.
- Zhang, W., Chao, L. Yang, Q., Wang, Q. Fang, Y., Wang, S. (2016a). Litter quality mediated nitrogen effect on plant litter decomposition regardless of soil fauna presence. *Ecology.* 97, 2834-2843.
- Zhang, Y. W., Deng, L., Yan, W. M., Shangguan, Z. P. (2016b). Interaction of soil water storage dynamics and long-term natural vegetation succession on the Loess Plateau, China. *Catena* 137, 52–60.
- Zhou, J., Fu, B., Gao, G., Lü, Y., Liu, Y., Lü, N., Wang, S. (2016). Effects of precipitation and restoration vegetation on soil erosion in a semi-arid environment in the Loess Plateau, China. *Catena* 137, 1–11.
- Zhou, Q., Keith, D. M., Zhou, X., Cai, M., Cui, X., Wei, X., Luo, Y. (2018^a). Comparing the Water-holding Characteristics of Broadleaved, Coniferous, and Mixed Forest Litter Layers in a Karst Region. *Mt. Res. Dev.* 38, 220–229.
- Zhou, Q., Zhou, X., Luo, Y., Cai, M. (2018^b). The effects of litter layer and topsoil on surface runoff during simulated rainfall in guizhou province, Chine: A plot scale case study. *Water.* 10.

CAPITULO III –PROPRIEDADES FÍSICAS DO SOLO EM FLORESTAS REGENERANTES.

RESUMO

A capacidade de um solo manter a produtividade biológica, qualidade ambiental e vida vegetal e animal saudável dependem da qualidade do solo, sendo os atributos físicos como densidade e umidade seus indicadores. O presente trabalho tem como objetivo analisar o comportamento da densidade, umidade do solo e resistência a penetração do solo de florestas em diferentes estágios regeneração natural no Cerrado (Fragmentos A, B e C). A pesquisa foi desenvolvida em uma Reserva Particular de Patrimônio Natural – RPPN situada na bacia do Rio Jacaré Pepira localizada no município de Brotas – SP. Os dados mensais de densidade e umidade do solo foram obtidos através de 3 amostras aleatórias em cada parcela. Foi possível notar que houve diferença estatística entre os 3 fragmentos tanto para densidade (valor- $p=0,0015$) quanto para umidade do solo (valor- $p=0,0010$), de forma que a floresta mais avançada (FA) obteve valores ainda menores de densidade do que demais áreas florestais bem desenvolvidas. Foi possível ainda notar que houve diferença entre os meses estudados para densidade do solo (em FA, FB e FC) e para umidade do solo (FC). A resistência a penetração média do solo obteve valores menores nas áreas mais desenvolvidas. Desse modo, apesar de ser um processo lento, o desenvolvimento da regeneração natural mostrou promover uma melhoria das características físicas do solo, tendo influência tanto na umidade quanto na densidade e na resistência a penetração do solo.

Palavras chave: Umidade do solo, densidade do solo, resistência do solo à penetração.

ABSTRACT

The ability of a soil to maintain biological productivity, environmental quality and healthy plant and animal life depend on the quality of the soil, with physical attributes such as density and moisture being its indicators. The present work aims to analyze the behavior of density, soil moisture and soil penetration resistance of forests in different stages of natural regeneration in the Cerrado (Fragments A, B and C). The research was developed in a Private Reserve of Natural Heritage - RPPN located in the Jacaré Pepira River basin located in the municipality of Brotas - SP. The monthly data of density and soil moisture were obtained through 3 random samples in each plot. It was possible to notice that there was a statistical difference between the 3 fragments both for density (p-value = 0.0015) and for soil moisture (p-value = 0.0010), so that the most advanced forest (FA) obtained values even lower in density than other well-developed forest areas. It was also possible to notice that there was a difference between the months studied for soil density (in FA, FB and FC) and for soil moisture (FC). Resistance to medium soil penetration obtained lower values in more developed areas. Thus, despite being a slow process, the development of natural regeneration has been shown to promote an improvement in the physical characteristics of the soil, influencing both moisture and density and resistance to soil penetration.

Keywords: Soil moisture, soil density, soil resistance to penetration.

1. INTRODUÇÃO

O solo da floresta é um componente essencial para manutenção da sustentabilidade dos serviços do ecossistema (Toivio et al. 2017), sendo a principal fonte de nutrientes, estoque de carbono, ciclagem de água, troca gasosas e meio de suporte. A preservação do solo é uma preocupação ambiental mundial (Binkley e Fischer 2012).

Solos com cobertura florestal apresentam significativa porosidade, sendo esses caminhos preferenciais para a infiltração e a recarga dos aquíferos (Best et al. 2003, Sousa et al. 2015). A ausência da cobertura vegetal e/ou retirada pela ação antrópica, ocasiona, por sua vez, impactos ao meio ambiente, destacando-se os processos erosivos gerados a partir da ação do escoamento superficial (Correa et al. 2014). A perturbação do solo contribui para uma perda de produção do ecossistema acarretando perdas no provisionamento e regulação dos serviços do ecossistema florestal (Toivio et al. 2017). Nesse sentido, entender o funcionamento das técnicas de recuperação de um ecossistema é fundamental para solucionar dificuldades no estabelecimento de sua estrutura e função (Ferreira et al. 2017), não somente no âmbito de diversidade ecológica, mas também no compartimento solo.

Quando falamos em recuperação de áreas degradadas, sabemos que a qualidade do solo desenvolve um importante papel nesse processo, de forma a manter a produtividade biológica, qualidade ambiental, a vida animal e vegetal, processos esses também relacionados às propriedades físicas e mecânicas do solo. De acordo com Sun et al. (2006), a recuperação florestal pode promover a cobertura do solo, aumentar a interceptação da chuva, reter água na floresta, reduzir a erosão e a perda de nutrientes, melhorar os habitats terrestre e aquático, além do sequestro de carbono (Chen e Weil, 2010).

Dentre algumas formas de degradação do solo, temos a compactação, que é conhecida por aumentar a força, resistência do solo e redução da porosidade, sendo portanto, prejudicial não apenas para o crescimento de plantas mas também para as atividades biológicas (Bayat et al. 2017). A compactação pode limitar a disponibilidade de oxigênio e alterar a disponibilidade de água no solo para microrganismos e plantas (Bolat et al. 2016), restringe o crescimento das raízes, reduz a disponibilidade de nutrientes e impede o crescimento das mesmas (Ishaq et al. 2001, Chen e Weil, 2010). Resulta, portanto, em consequências negativas para a produção da florestal ou agrícola e ecologia do solo (Bolat et al. 2016, Ortiz et al. 2017).

Melloni et al. (2008) afirmam que é interessante realizar uma análise de conjunto ao correlacionar atributos do solo em diferentes ecossistemas para prover a visualização da influência desses e o nível de degradação. Geralmente, ocorrem alterações na formação estrutural do sistema natural do solo, pela chuva ou por forças mecânicas externas, que ocasionam a reestruturação das partículas do solo (Turgut, 2012, Bolat et al. 2016). Uma correlação que auxilia o entendimento da degradação do solo é a resistência à penetração e a densidade do solo, sendo afetada principalmente pela textura e teor de umidade (Sousa et al. 2015).

A resistência mecânica à penetração do solo é uma propriedade dinâmica identificada como a reação do solo à ação de uma força. Esse parâmetro é utilizado na identificação de camadas compactadas, sendo um dos principais indicadores na avaliação da degradação dos solos (Silveira et al. 2010, Mohieddinne et al. 2019, Duarte et al. 2019), e está relacionado diretamente com o crescimento das plantas e infiltração de água no solo (Silva et al. 2003, Bergamin et al. 2010, Duarte et al. 2019). A umidade, por sua vez, influencia importantes processos no solo, como o movimento da água, a compactação do solo, desenvolvimento radicular e a aeração (Timm et al. 2006), apresentando importante variabilidade espacial e temporal. Portanto, é uma variável de extrema importância para promover o desenvolvimento de uma área em recuperação.

O impacto da compactação na saúde do solo tem sido amplamente estudado, mas pouco se sabe sobre a recuperação das propriedades do solo ao longo do tempo (Mohieddinne et al. 2019). Apesar de algumas relações entre os parâmetros físicos dos solos terem seu conhecimento científico consolidado, estudos que envolvam a dinâmica do processo de recuperação florestal e a estrutura dos solos ainda são incipientes. Há muitos estudos que relacionam o impacto de máquinas pesadas em ambientes de produção florestal ou agrícola (Bolat et al. 2016, Martins e Santos 2017, Mohieddinne et al. 2019), mas poucos buscam associar a dinâmica do processo de recuperação florestal com a recuperação do solo. Afinal, a recuperação florestal envolve não apenas o estabelecimento da floresta, mas também a recuperação do solo anteriormente degradado, assim como outros processos envolvidos no âmbito de serviços ecossistêmicos. E como funciona essa relação? Como a regeneração natural contribui para a recuperação do solo de forma a promover uma menor resistência mecânica e por sua vez, maior infiltração de água? Qual é relação do desenvolvimento de florestas sob condução de regeneração natural e a recuperação física do solo?

Nesse sentido, essa pesquisa teve por objetivo analisar os serviços ecossistêmicos de áreas sob diferentes estágios de regeneração natural do Bioma Cerrado na perspectiva de caracterizar a relação entre a resistência mecânica à penetração e umidade e densidade do solo e o desenvolvimento da sucessão secundária.

2. MATERIAL E METODOLOGIA

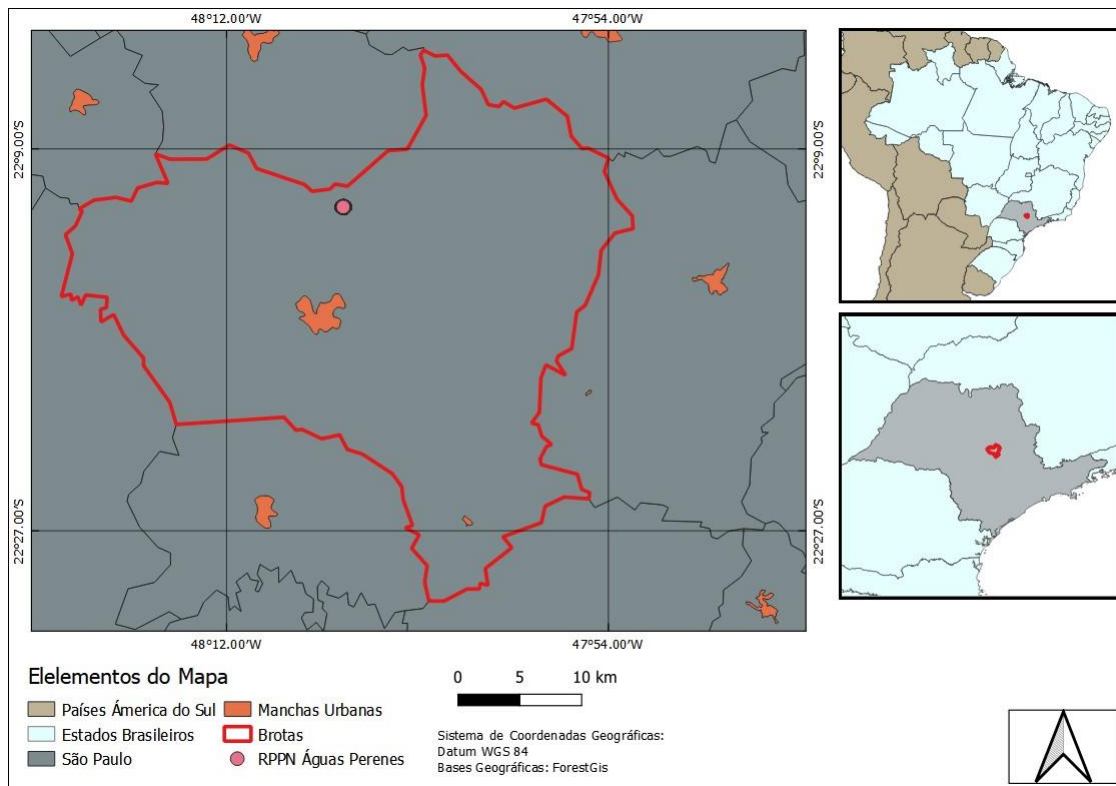
A pesquisa foi desenvolvida em uma Reserva Particular de Patrimônio Natural – RPPN sob responsabilidade da empresa International Paper, reconhecida pelo decreto SMA 76 de 2011 e paramentada pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC baseado na Lei no 9.985, de 18 de Julho de 2000, (Brasil, 2000, International Paper S.A., 2017), sendo uma área que fornece serviços ambientais básicos em situações críticas (proteção de bacias hidrográficas) essa área foi também selecionada como uma Floresta de Alto Valor de Conservação pelo Forest Stewardship Council – FSC com o objetivo de manter o Atributo de Alto Valor de Conservação 5 de serviços ambientais críticos (International Paper S.A., 2017).

Com uma área de 812,24 ha, a RPPN está situada na bacia do Rio Jacaré Pepira localizada no município de Brotas, São Paulo (Figura 1), sob um regime de precipitação anual de 1210mm e temperatura média anual de 21,4°C com média máxima de 29.6°C e média mínima de 10,9°C, em um clima CWA (Clima Subtropical de inverno seco e verão quente) de acordo com a classificação de Köppen (International Paper S.A., 2017, Saciloto, 2017, Cepagri, 2015). Sua fitofisionomia é caracterizada como vegetação secundária dos tipos Cerrado Típico e Cerradão (Bessi et al. 2018), e se localiza na região de transição entre Neossolo quatzarenico e Latossolo vermelho-amarelo com textura Arenosa.

O estudo da dinâmica das características físicas do solo como densidade absoluta (DS), umidade relativa (US) e resistência mecânica à penetração (RP) foi realizado mensalmente, de junho/2018 a abril/2019, em três fragmentos florestais em diferentes estágios de condução de regeneração natural, assim sendo: fragmento A (FA) em regeneração natural à 46 anos, fragmento B (FB) em regeneração natural à 13 anos e fragmento C (FC) à 5 anos (Figura 2). Os fragmentos são adjacentes uns aos outros (distantes à 80 metros, aproximadamente) e as variáveis foram sempre coletadas no mesmo momento, permitindo assim uma comparação confiável entre fragmentos. Anteriormente à condução da regeneração natural, a área era utilizada para plantio de *Eucalyptus* sp.

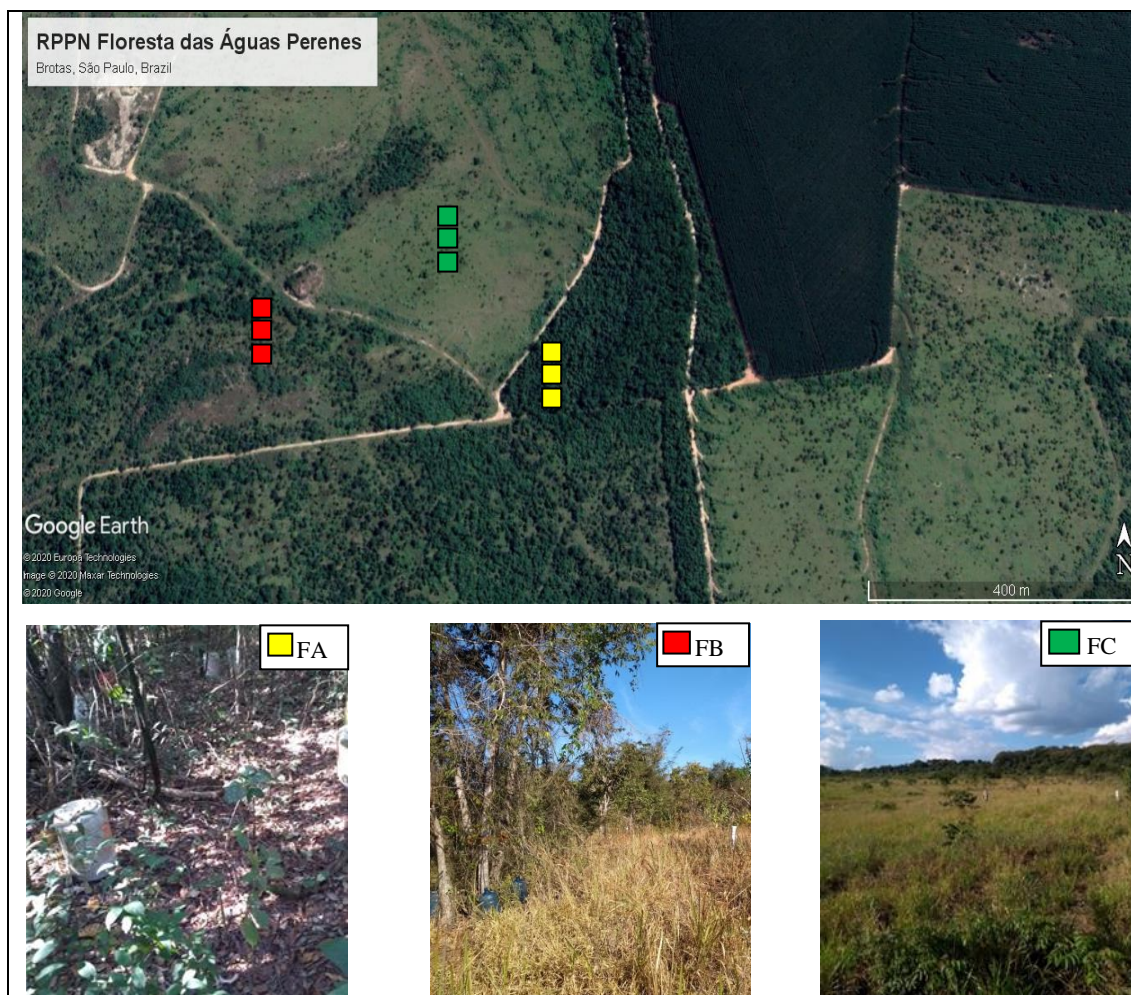
Em cada fragmento foram instaladas 3 parcelas de 20 x 20m totalizando 400m². Nas parcelas, foram obtidos o diâmetro do tronco a 1,5 m de altura, altura da árvore, densidade do dossel e densidade das árvores (Tabela 1).

Figura 1: Localização do município de Brotas – SP.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 2: Localização das parcelas e dos fragmentos: regeneração à 46 anos (FA), regeneração à 13 anos (FB) e regeneração à 5 anos (FC). Floresta das Águas Perenes, Brotas SP.



Fonte: O Autor, 2020

Tabela 1. Características dos fragmentos. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-SP.

Fragmentos	Idade da regeneração (anos)	Diâmetro médio do tronco (cm)	Altura média (m)	Área média da copa (m ²)	Densidade de árvores (árvores.ha ⁻¹)
A	46	10,8	8,5	9,0	1408,3
B	13	11,8	6,1	12,8	225,0
C	5	12,9	5,1	22,1	16,7

Fonte: O Autor, 2020.

2.1 Precipitação em aberto e precipitação efetiva

A precipitação foi monitorada por pluviômetros instalados próximo ao local, com uma distância máxima de 30 m. Para impedir a entrada de folhas, insetos e pequenos animais que pudessem interromper o fluxo da água e minimizar a evaporação da água, um funil foi colocado no topo dos pluviômetros. As precipitações foram calculadas pela

equação:

$$P = \frac{V (mL)}{A (m^2)} \times 10 \quad (1)$$

Onde P é a precipitação (mm), V é o volume do pluviômetro (mL), e A é a área do pluviômetro (cm²).

Os pluviômetros foram instalados a uma altura de 1,20 m do solo, foi obtido informação de 25 pluviômetros distribuídos ao longo da área de estudo, a precipitação interna foi calculada pela equação:

$$Tf = \sum_{ni}^x \frac{\left[\frac{V}{A} \times 10 \right]}{ni} \quad (2)$$

Onde Tf é a precipitação interna (mm), V é o volume do pluviômetro (mL), A é a área do pluviômetro (cm²), e ni e o número de pluviômetros.

O escoamento pelo tronco foi realizado em árvores com diâmetro na altura do peito (DAP) > 5 cm. As árvores foram envolvidas por uma calha de poliuretano, com base na metodologia proposta por Likens e Eaton (1970), fixada a 1,30m do solo. A água, que é drenada através da superfície da haste, é direcionada por uma mangueira de 5/8" para coletores de 20L. O escoamento pelo tronco foi obtido pela equação:

$$Sf = \frac{Vt}{K} \quad (3)$$

Onde Sf é o escoamento pelo tronco (mm), Vt é o total de volume coletado (L), e K é a projeção da área do dossel.

As amostras de precipitação, precipitação interna e escoamento pelo tronco foram medidas em campo usando um cilindro de medição de 1 L (com graduações de 0,5 L) ou balde graduado de 20 L (com graduações de 0,5 L).

A precipitação interna e o escoamento pelo tronco foram utilizados para o cálculo da precipitação efetiva através da soma destes.

2.2 Densidade (DS) e Umidade do solo (US)

Os dados de densidade e umidade do solo foram obtidos a partir de três amostras aleatórias em cada parcela (três parcelas por fragmento), com anéis volumétricos metálicos de 100cm³ para obtenção de amostras não deformadas e seu peso obtido em balança de precisão. A determinação da umidade do solo foi através do método termogravimétrico, conforme (Embrapa, 1997, Guariz et al., 2009) o qual consiste na pesagem da massa fresca recém-coletada e seca após 24 horas em estufa de circulação forçada de 105°C a 110°C (Equação 4).

$$US(\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100 \quad (4)$$

Onde, US (%) = Umidade do solo em %; Mu= Massa de solo úmida em gramas; Ms= Massa de solo seca em gramas.

A determinação da densidade do solo foi também realizada conforme Embrapa (1997), utilizando o volume da amostra não deformada do anel volumétrico (100 cm³) e da massa seca obtida pelo método termogravimétrico mencionado acima (Equação 5).

$$Ds(g.cm^{-3}) = \frac{Ms}{Va} \quad (5)$$

Onde, Ds: Densidade do solo em g.cm⁻³; Ms= Massa de solo seca em gramas; Va= Volume do anel em cm³.

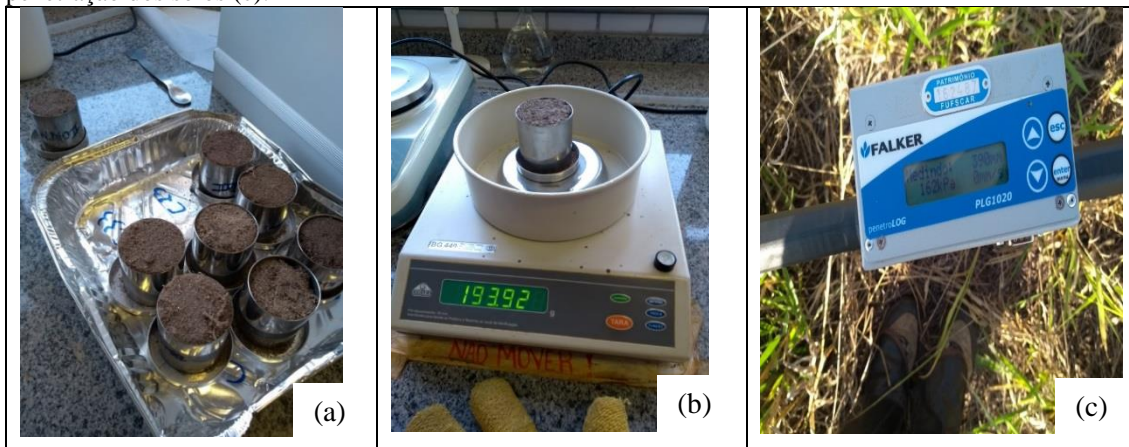
A análise de dados foi realizada através do software R com o teste de normalidade de Lillefors (Kolmogorov-Smirnov) e teste de Bartlett para analisar a homocedasticidade das variâncias dos dados de densidade e umidade do solo para os três fragmentos. A fim de analisar a relação da densidade do solo e a influência dos meses, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis.

2.3 Resistencia Mecânica dos solos à penetração

Com auxílio do equipamento Penetrôgrafo Digital Falker PLG1020, os dados de resistência mecânica à penetração dos solos (RP) foram coletados mensalmente com três repetições por parcela, totalizando 9 medições por fragmento.

Os dados de RP foram separados em 6 classes de profundidade: 1-10cm; 11-20cm; 21-30cm; 31-40cm; 41-50cm; 51-60cm e em seguida foram submetidos ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk e ao teste de Bartlett para verificar a homocedasticidade dos dados. Assim, procedeu-se análise da variabilidade das variâncias para então aplicar a análise de dados multivariados ao nível de 95% de confiança e ao teste de Tukey. Foi ainda aplicado o teste de Spearman para verificar a correlação entre a resistência de penetração do solo com a densidade e umidade do solo em cada fragmento.

Figura 3. Anéis com coleta de solos (a), balança de precisão (b), medição da resistência mecânica à penetração dos solos (c).



Fonte: O Autor, 2020.

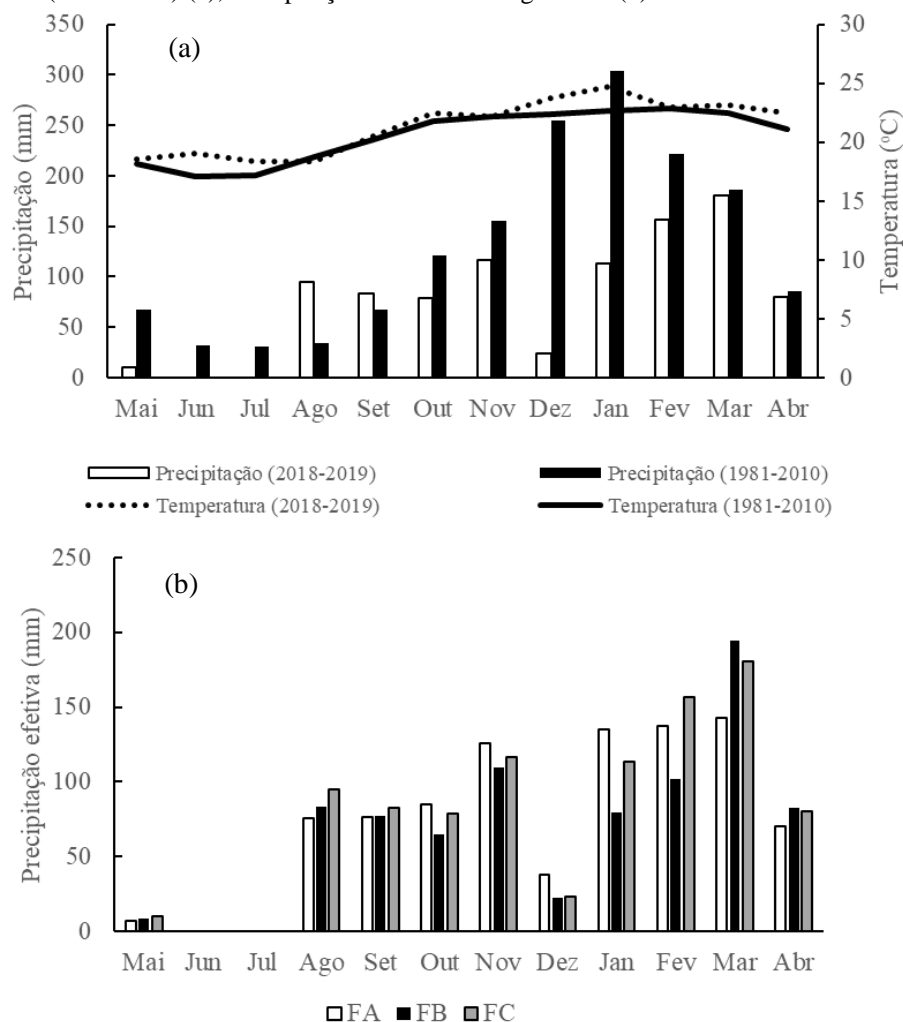
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Precipitação em aberto e precipitação efetiva

A precipitação em aberto acumulada durante o período da pesquisa foi de 936,7 mm, 6,3% superior à chuva registrada para o mesmo período (877,8 mm) pela estação meteorológica oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020). Ao comparar o volume de chuva no local de pesquisa com a normal climatológica de 1981-2010, constatou-se ainda que o período de monitoramento foi um ano atípico, onde a chuva esteve cerca de 44% abaixo da média. A temperatura média foi de 21,6°C e esteve superior em 5% ao registrado nas normais climatológicas (20,6°C), com maior temperatura média em dezembro (24,7°C) e a menor em julho (18,3°C) (Figura 4a).

Com relação à precipitação efetiva (PE), observou-se que FA e FB apresentaram 894,6 mm ano⁻¹ e 824,1 mm ano⁻¹, respectivamente, ou seja, 4,5% e 12% inferiores à precipitação em aberto. Já o fragmento C, sendo uma área muito jovem, quase sem indivíduos arbóreos, apresentou sua PE semelhante à precipitação em aberto (Figura 4b).

Figura 4. Precipitação acumulada e temperatura média do período 2018 à abril de 2019 e normais climatológicas (1981-2010) (a), Precipitação efetiva nos fragmentos (b).



Fonte: O Autor, 2020.

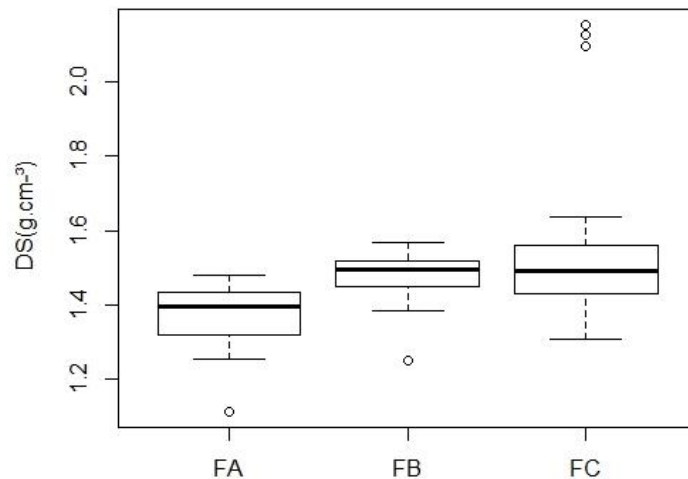
3.2 Densidade do solo

A densidade do solo variou de 1,31 à 1,46 g.cm^{-3} em FA, 1,33 a 1,55 g.cm^{-3} em FB e 1,34 a 2,13 g.cm^{-3} em FC. A média mensal de densidade do solo de FA foi 1,38 g.cm^{-3} ($\pm 0,03 \text{g.cm}^{-3}$), de FB foi 1,47 g.cm^{-3} ($\pm 0,04 \text{g.cm}^{-3}$) e de FC foi 1,53 g.cm^{-3} ($\pm 0,11 \text{g.cm}^{-3}$) (Figuras 5 e 6). Ao realizar as análises de normalidade e homocedasticidade nos dados de densidade do solo, obteve-se que apenas os fragmentos A (p-valor=0,31) e B (p-valor=0,52) possuem distribuição normal e variância homogênea, resultando em diferença estatística entre eles (Figura 5).

O teste de Kruskal-Wallis demonstrou que ao nível de 95% de confiança, as diferenças entre as medianas de FA, FB e FC são estatisticamente significantes (p-valor=0,0015). Os fragmentos apresentaram diferenças estatisticamente significativas

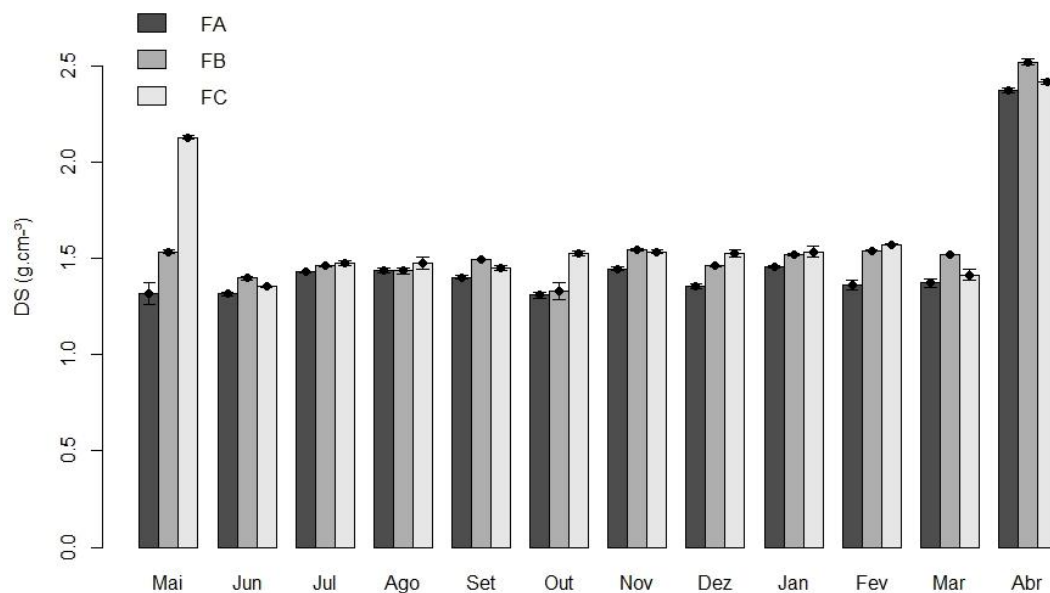
entre as medianas dos meses analisados (FA: p-valor=0,0181, FB: p-valor=0,0012, FC: p-valor=0,0044), demonstrado a tendência das florestas mais desenvolvidas de promoverem a redução da densidade, normalmente associada a compactação do solo, possivelmente devido ao enraizamento de espécies arbóreas.

Figura 5: Boxplot de densidade média do solo (DA) por fragmentos (A, B e C).



Fonte: O autor, 2020.

Figura 6: Densidade do solo (DS) para os fragmentos (FA, FB e FC) e meses.



Fonte: O autor, 2020.

Ao relacionar a densidade do solo de FA, FB e FC através do índice de correlação de Spearman, nota-se que a correlação entre os fragmentos foi relativamente baixa, sendo a mais alta entre FB e FC ($r^2=0,52$) seguida de FA com FB ($r^2=0,42$). Assim, apesar de

FA e FC não possuem boas correlações, FB de 9 anos já consegue apontar direcionamento para uma regeneração como a de FA.

A densidade média do solo de FC foi semelhante a de plantios de *Eucalyptus* sp e de pastagens, entretanto, ainda assim, esteve menor do que o parâmetro máximo indicado em densidade do solo (1,70 a 1,80 g.cm⁻³) para penetração de raízes (Buckman e Brady, 1989). Por outro lado, FA apresentou valores ainda inferiores aos encontrados em áreas de florestas bem desenvolvidas, o que indica a eficiência da regeneração no melhoramento de características físicas do solo. Em seu trabalho, Moraes et al. (2002) descrevem valores de densidade do solo de 1,43g.cm⁻³ sob pastagem degradada, Luiz Prevedello et al. (2007) encontraram valores entre 1,32 g.cm⁻³ e 1,58 g.cm⁻³ para solos de 10 a 20cm de profundidade sob diferentes manejos de plantios de *Eucalyptus* sp.

No estudo realizado por Guariz et al. (2009) em 5 diferentes usos de solo, a cobertura de plantio de eucalipto apresentou maiores valores de umidade do solo, enquanto que a de nível primário de regeneração apresentou menor valor de densidade (1,45g/cm³) e a pastagem maior densidade (1,47 g/cm³) sendo que apenas a densidade da regeneração diferiu estatisticamente das demais. Em seu trabalho, Sattler (2006) detectou densidades médias de 1,56 g.cm⁻³ em pastagens e 1,43 g.cm⁻³ em solo de 0 a 20 cm de profundidade sob vegetação nativa.

Portanto os valores de densidade do presente trabalho encontram-se próximos aos da literatura, de forma que o ordenamento da densidade do solo acompanhou a idade de regeneração natural das áreas. Assim, as áreas mais desenvolvidas (há mais tempo em regeneração), apresentaram densidades menores (FC>FB>FA) provavelmente devido a aeração do solo com as raízes, matéria orgânica e baixa atividade antrópica.

3.3 Umidade do solo

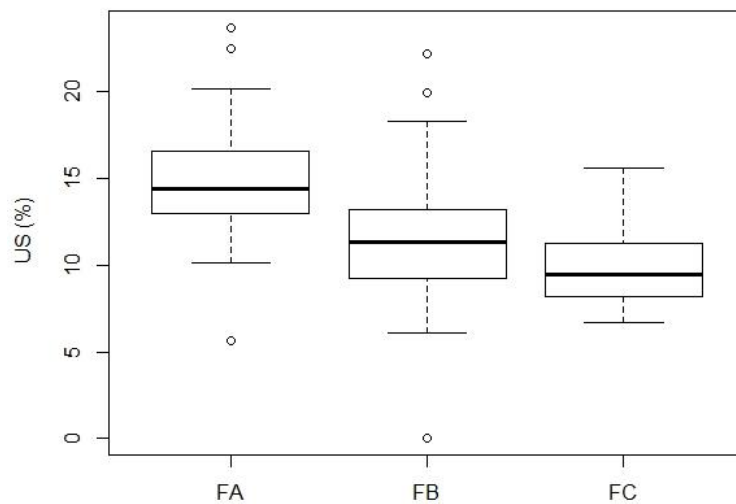
A média anual de umidade do solo de FA foi 14,9% ($\pm 1,3\%$), de FB foi 11,5% ($\pm 1,8\%$) e de FC foi 10,0% ($\pm 1,1\%$), o que demonstra a tendência das florestas mais desenvolvidas manterem a umidade do solo. Em FA, a umidade esteve entre 11,8 à 19,8%, em FB entre 7,8 à 15,3% e em FC entre 8,1 à 13,8%. A umidade do solo máxima, em todos em fragmentos, ocorreu em outubro (Figura 8).

Ao analisar a normalidade e homocedasticidade da umidade relativa do solo,

obteve-se que apenas os fragmentos A (p -valor=0,089) e C (p -valor=0,1011) possuíam distribuição normal, nenhum apresentou homocedasticidade nas variâncias. Através da análise de Kruskal-Wallis, verificou-se que a umidade do solo apresentou diferença estatística significativa entre as medianas dos fragmentos A, B e C (p -valor=0,0010), onde as correlações são baixas, sendo a mais alta delas entre FA e FB ($r^2=0,44$).

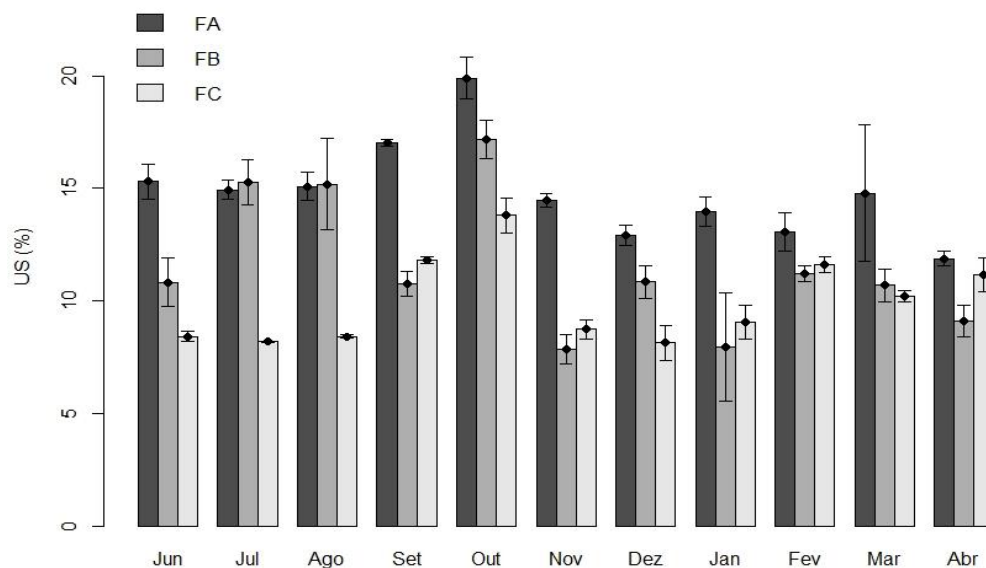
Ao contrário de FA e FB, FC apresentou diferenças significativas entre os meses (p -valor=0,0177), o que sugere uma conservação da umidade do solo nos estágios em que se encontram FA e FB, provavelmente devido à cobertura vegetal e serapilheira que auxilia a retenção de umidade do solo nesses ambientes.

Figura 7: Boxplot da mediana da do solo (US) por fragmentos (A, B e C).



Fonte: O autor, 2020.

Figura 8: Umidade do solo (US) para os fragmentos de regeneração (FA, FB e FC) e meses.



Fonte: O autor, 2020.

Em uma região semiárida da China, Yang et al. (2014) obtiveram a umidade média do solo 7% em pastagem nativa, de 8,5% em terras agrícolas, de 11% em prados de alfafa, 8% em vegetação arbustiva, e em 3 diferentes tipos florestais da China, a umidade média do solo varou de 9% a 11%. Portanto os valores deste trabalho encontraram-se próximos aos da literatura, sendo que mesmo FC, sendo a área mais jovem e sem vegetação arbórea, apresenta ainda uma US média (10%) acima de valores encontrados em pastagem, agricultura e vegetação arbustiva.

3.4 Resistência Mecânica do solo à Penetração (RP)

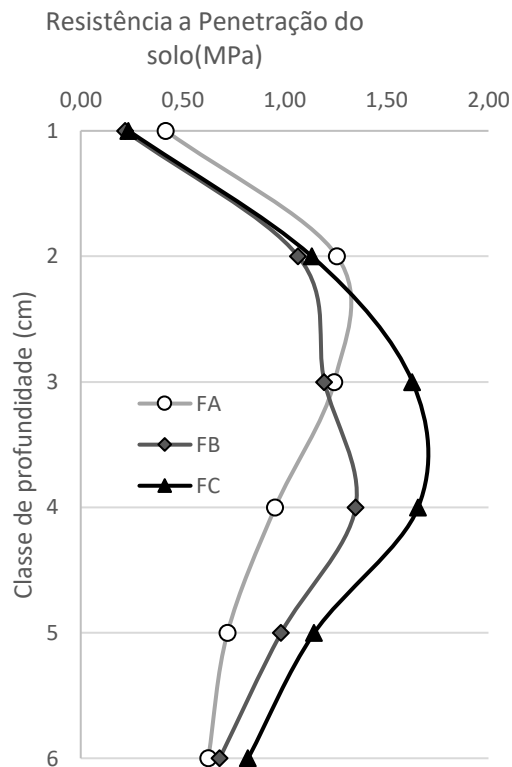
Na primeira classe de profundidade (de 0 a 10 cm) FA apresentou a maior resistência, entretanto, com tendência à redução conforme a profundidade. Esse comportamento também foi observado em FB. Em FC, a RP foi menor na primeira classe de profundidade, contudo, com incremento a partir da segunda classe de profundidade, permanecendo alto. Ainda assim, comparando as médias da resistência dos 3 fragmentos, FA obteve a menor resistência (0,87 MPa) seguida de FB (0,91 MPa) e por último, FC (1,10 MPa) (Tabela 2 e Figura 9).

Tabela 2: Resistência a Penetração (MPa) por classe de profundidade para os fragmentos A, B e C.

Classe de Profundidade (cm)	Resistência a Penetração (MPa)		
	FA	FB	FC
0 - 10 (1)	0,42	0,22	0,24
10 - 20 (2)	1,26	1,07	1,13
20 - 30 (3)	1,24	1,20	1,63
30 - 40 (4)	0,95	1,35	1,66
40 - 50 (5)	0,72	0,98	1,15
50 - 60 (6)	0,63	0,68	0,82
Média	0,87	0,91	1,10

Fonte: O autor, 2020.

Figura 9: Médias das Resistências a penetração do solo em 6 classes de profundidade nos 3 fragmentos (FA, FB e FC).

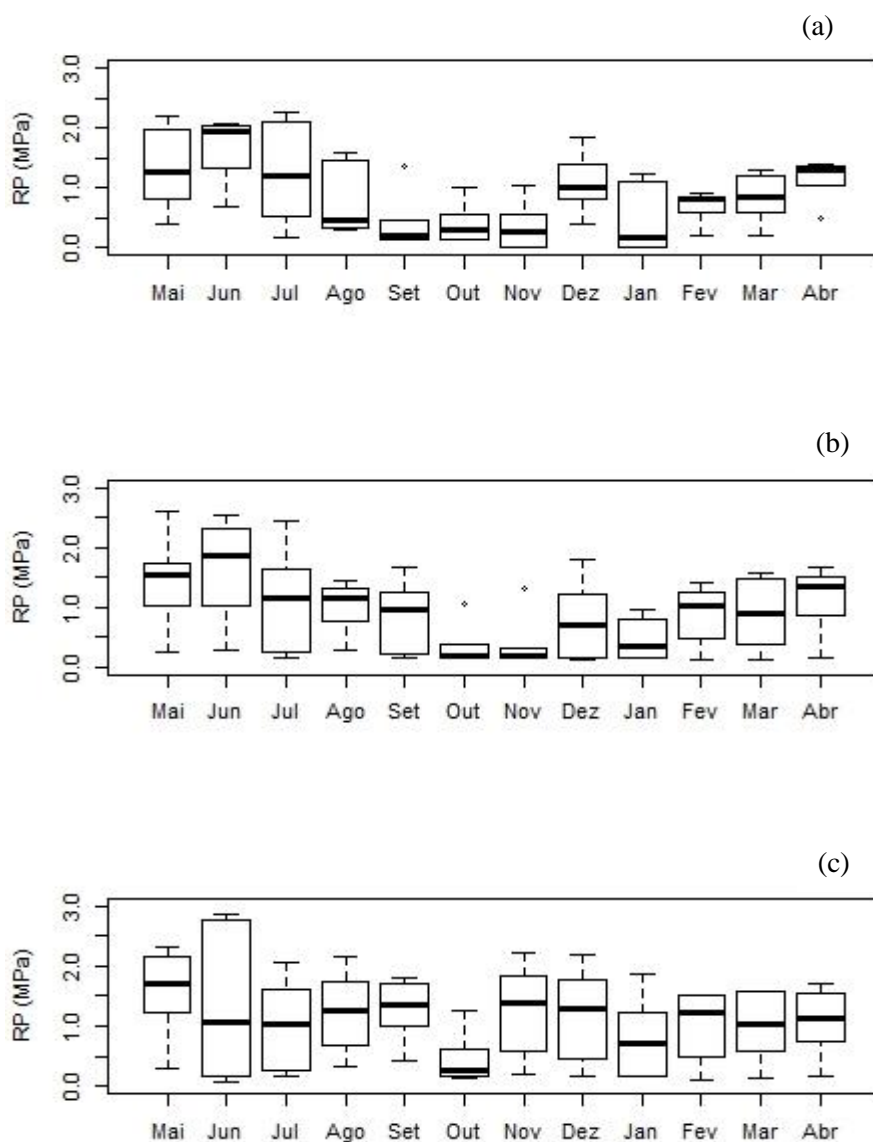


Fonte: O autor, 2020.

Por meio do teste Lilleforts, foi possível verificar que os valores de *p-value* encontrados foram maiores que 0,05, o que indica sua normalidade. Dessa forma, o teste de Bartlett verificou a homocedasticidade com valor de *p* maior que 0,05 indicando a homogeneidade das variâncias entre os fragmentos e o meses. A ANOVA indicou que os fragmentos diferem entre si a um nível de 90% de confiança e os meses com 95% de confiança.

Ao realizar a análise entre as classes de profundidade em cada fragmento, verificou-se que tanto em FA quanto em FB não houve diferença estatística entre as classes de profundidade ($p\text{-valor} > 0,05$), mas houve diferença estatística entre os meses com 95% de confiança ($p\text{-valor} < 0,05$), sendo que as maiores diferenças ocorreram nas combinações entre o mês de junho com os meses de setembro, outubro e novembro ($p\text{-valor} < 0,05$). Já FC não apresentou diferença estatística a 95% nem entre os meses e nem entre as classes de profundidade.

Figura 10: Boxplot da Resistencia a Penetração (MPa) mensal para os Fragmentos A (a), B (b) e C (c).



Fonte: O Autor, 2020.

Com o intuito de avaliar o efeito da colheita sobre a RP, Jankovsky et al. (2019) comparou a RP após a colheita florestal, e, novamente, 5 anos depois da colheita, período esse sem intervenção na  rea. Os resultados obtidos estiveram entre 5,15 e 6,95 MPa, muito superiores ao observado em FA, FB e FC.

Estudos mostram que, de maneira geral, valores de resistência   penetração do solo acima de 2,5 MPa para o alongamento da raiz, é comumente aceito como significativamente restrito (Whalley et al. 2007). Apesar disso, vários estudos com plantas

visualmente saudáveis mostraram valores significativamente maiores de resistência a penetração do solo (Busscher et al. 1997, To e Kay, 2005, Whalley et al. 2007 Bolat et al. 2016).

Duarte et al. (2019) observaram em um plantio de café, no Sul do Estado do Amazonas, obtiveram valores médios de RP nas profundidades de 0-5, 5-10 e 10-20 cm de 4,41, 1,17; e 1,28 MPa respectivamente. No trabalho de Silva et al (2012) foi encontrado valores de RP do solo de 1,1 MPa para profundidades de 0 a 10 cm, 1,56 MPa de 10 a 20 cm; 2,18 MPa de 20 a 30 cm e 2,21 MPa de 30 a 40 cm em um estudo conduzido em um sistema agroflorestal (SAF) com 21 espécies arbóreas em Gurupi-TO.

A pesquisa de Sousa et al. (2015) apresenta valores de resistência à penetração do solo em área de Cerrado variando de 1,18 MPa na camada inicial até 2,39 MPa aos 0,40 m, esses valores são maiores do que os encontrados no presente estudo, bem como Ribeiro et al. (2013) que também encontraram valores mais altos em Latossolo Vermelho de regeneração avançada com 0,3 MPa a 3,9 MPa.

Os valores observados nesse estudo, estiveram inferiores à diversos estudos realizados em todo o mundo, indicando que ainda que a RP decresce com o desenvolvimento da floresta (FC>FB>FA) e mesmo FC apresentando as maiores resistências, ainda assim, possui valores baixos. A situação com valores mais parecidos com o deste trabalho foram em Cerrado de Neossolo Quartzarênico (Souza et al. 2005), com mesmo bioma e tipo de solo. Os autores obtiveram também em Cerrado, como 1,3 MPa a 2 MPa (Latossolo Vermelho), 0,5 MPa a 1,5 MPa (Neossolo Quartzarênico) e 0,75 MPa a 1,75 MPa (Neossolo Quartzarênico – Cerrado antropizado), sendo esses valores os mais próximos com o do presente estudo, os quais variaram de 0,42 MPa a 1,26 MPa para o FA, 0,22 MPa a 1,35 MPa para o FB e 0,24 MPa a 1,66 MPa para o FC.

Comparando ainda os dados do presente trabalho com as classes de resistências a penetração do solo (Tabela 3) propostas pelas USDA (1993), nota-se que, na média, tanto FA (0,87 MPa) quanto FB (0,92 MPa) são classificados como resistência baixa a penetração do solo. FC foi o único fragmento com a média acima de 1,0 MPa, sendo assim classificado com resistência moderada à penetração do solo.

Tabela 3: Classes de Penetração do solo.

Classes	Resistência a Penetração (MPa)
Extremamente baixa	<0,01
Muito baixa	0,01 – 0,1

Baixa	0,1 – 1,0
Moderada	1,0 – 2,0
Alta	2,0 – 4,0
Muito alta	4,0 – 8,0
Extremamente alta	> 8,0

Fonte: USDA, 1993.

3.5 Correlação entre as variáveis físicas do solo

Através da correlação de Spearman entre densidade, umidade do solo e resistência a penetração do solo, podemos observar que, de forma geral, houve pouca correlação entre elas.

Tabela 4: Correlação de Spearman para as variáveis físicas do solo (Densidade do solo – DS, Umidade do solo – US, Resistência a penetração do solo – RP) e Precipitação efetiva – PE nos 3 fragmentos de regeneração (FA, FB e FC).

FA	PE	RP	DS	US	FB	PE	RP	DS	US	FC	PE	RP	DS	US
PE	1,0	-	-	-	PE	1,0	-	-	-	PE	1,0	-	-	-
RP	-0,65	1,0	-	-	RP	-0,20	1,0	-	-	RP	-0,28	1,0	-	-
DS	0,29	-0,34	1,0	-	DS	0,70	-0,26	1,0	-	DS	0,39	-0,40	1,0	-
US	-0,12	-0,22	-0,12	1,0	US	-0,47	0,09	-0,72	1,0	US	0,42	-0,37	0,11	1,0

Fonte: O autor, 2020.

Pacheco e Cantalice, (2011), encontraram efeito direto e correlação positiva de densidade do solo na resistência a penetração em Argissolo de textura média/argilosa, Ferraz et al. (2013) obteve resultados que mostraram que umidade do solo tem efeito direto e correlação negativa com a resistência a penetração, onde a análise de trilha mostra que densidade e umidade do solo respondem a 72,3% das variações da resistência a penetração em Cambissolo com textura areia franca.

Já no estudo de Cerqueira et al. (2010) com Argissolo Amarelo Distrocoeso, a resistência a penetração do solo apresentou distribuição diferente normal e elevado coeficiente de variação com correlação negativa com a umidade do solo

No presente trabalho, a maior correlação encontrada em FA foi entre a precipitação efetiva (PE) e resistência a penetração do solo (RP), de maneira inversamente proporcional ($r^2 = -0,65$) (Tabela 4), de modo que a resistência a penetração do solo reduz com o aumento da precipitação efetiva. Em FB, a maior relação ocorreu entre a densidade (DS) e a umidade do solo (US) de maneira inversamente proporcional ($r^2 = -0,71$) (Tabela

4), resultando em solo menos denso quando mais úmido, e entre a densidade do solo (DS) e a precipitação efetiva (PE), de maneira diretamente proporcional, ($r^2= 0,70$) ou seja, quanto maior a precipitação efetiva, maior a densidade do solo. Portanto, neste caso, quando ocorre a precipitação, a água não tende a atingir o solo, podendo participar de outros processos como evapotranspiração, escoamento superficial e até mesmo podendo não penetrar no solo devido a própria compactação superficial ocasionado pelas gotas de chuva. Essa observação se faz válida pois caso no evento de precipitação a água atingisse e umedecesse o solo, a densidade reduziria, sendo essa, inversamente proporcional à umidade do solo. Assim, ocorre a relação: $\uparrow PE \downarrow DS \uparrow US$. Já FC não apresentou nenhuma correlação estatisticamente significativa (Tabela 4).

Há que se destacar que, mais que o uso e cobertura do solo atual, ter o registro do histórico da mesma e o manejo realizado é fundamental para avaliação do comportamento da recuperação do solo por meio de um processo específico. Os fragmentos aqui estudados tem em comum o uso do solo com plantio de *Eucalyptus* sp para produção de celulose e as suas idades de desenvolvimento de sucessão secundária por regeneração natural, correspondem ao término do uso do solo para esse fim. Nessas condições, portanto, verificou-se que o desenvolvimento da regeneração natural, apesar desse ser um processo lento, promoveu benefícios na recuperação do solo, com incremento da umidade do solo e menor densidade e resistência à penetração. Essas características permitem visualizar uma melhoria na manutenção hidrológica do solo e desenvolvimento do ecossistema com o amadurecimento da floresta.

4. CONCLUSÃO

O desenvolvimento da regeneração natural mostrou promover uma melhoria das características físicas do solo, tendo influência tanto na umidade quanto na densidade e na resistência a penetração do solo. A densidade do solo reduziu com o avanço da regeneração, ao passo em que essa relação foi inversa com a umidade, que aumentou conforme o estágio de regeneração também avançava, a resistência a penetração do solo média demonstrou mesma tendência de redução conforme o avanço da regeneração da floresta, portanto a regeneração natural consegue ainda recuperar também essa característica física do solo, a relação da resistência a penetração do solo na floresta mais avançada houve uma relação negativa com a precipitação ou seja, a resistência é reduzida

com a presença de água. Comportamento este que comprova a importância de cobertura florestal para manutenção das propriedades físicas do solo como densidade, umidade e resistência a penetração do solo, as quais influenciam diretamente na qualidade do solo e no sucesso do desempenho vegetal. Foi possível ainda notar que houve diferença entre os meses estudados para densidade e para umidade, de forma que com o desenvolvimento da regeneração natural da floresta, regula sua umidade mesmo durante a época mais seca.

REFERÊNCIAS

- Bassett, I. E., Simcock, R. C., Mitchell, N. D. (2005). Consequences of soil compaction for seedling establishment: Implications for natural regeneration and restoration. *Austral Ecology*, 30, 827-833.
- Bayat, H., Sheklabadi, M., Moradhaseli, M., Ebrahimi, E. (2017). Effects of slope aspect, grazing and sampling position on the soil penetration resistance curve. *Geoderma*, 150-164.
- Bergamin, A. C., Vitorino, A. C., Franchini, J. C., Souza, F. R. (2010). Compactação em um Latossolo Vermelho distroférico e suas relações com o crescimento radicular do milho. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 681-691.
- Bessi, D., Tanaka, M. O., Costa, L. A., Correa, C. P., Tonello, K. C. (2018). Restauração Florestal e os efeitos dos parâmetros hidrológicos nas condições hídricas do solo: Uma abordagem usando modelos de equações estruturais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2318-0331.
- Best, A., Zhang, L., McMahon, T., Western, A., Vertessy, R. (2003). A critical review of paired catchment studies with reference to seasonal flows and climatic variability. *CSIRO Land and Water Technical Report*. Murray-Darling Basin Commission
- Binkley, D., Fisher, R. F., (2012). Ecology and management of forest soils. *Wiley-Blackwell*. 4v.
- Bolat, I., Melemez, K., Ozer., D. (2016). The influence of skidding operations on forest soil properties and soil compaction in Bartın, Turkey. *European Journal Forest English*, 1, 1-8.
- Brasil. (2000). LEI 9.985/2000 SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação.

Governo Federal, Brasília.

- Buckman, H.O., Brady, N.C. (1989). *Natureza e propriedade dos solos*. 7.ed. Tradução de A. de Figueiredo Filho. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, 594.
- Busscher, W. J., Bauer, P. J., Campo, C. R. (1997). Correction of cone index for soil water content differences in a coastal plain soil. *Soil and Tillage Research*, 205-217.
- Cepagri. (2015). Cepagri - Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas na Agricultura. Acesso em jun de 2019, disponível em <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-dos-municipios-paulistas.html>
- Cerqueira Silveira, D., Filho, J. F., Sacramento, J. A., Silva, E. C. (2010). Relação umidade versus resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 34, 659-667.
- Chen, G., Weil, R. R. (2010). Penetration of cover crop roots through compacted soils. *Plant and Soil*, 331, 31-43.
- Correa, E. A., Moraes, I. C., Guedes, J. E., Couto, J. A., Pinto, S. A. (2014). Resistência à penetração e densidade do solo como indicadores na análise da susceptibilidade a erosão hídrica dos solos. *Revista Geonorte*, 10, 141-146.
- Duarte, L. M., Filho, E. P., Campos, M. C., Mantovanelli, B. C., Júnior, P. C. (2019). Avaliação da variabilidade espacial da resistência à penetração e teor de água de um solo de Terra Preta Arqueológica. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, 04, 200-208.
- EMBRAPA. (1997). *Manual de Métodos de Análise de Solo*. Centro Nacional de Pesquisa de Solo, Rio de Janeiro.
- Ferraz, A. P., Souza, R. M., Souza, E. S., Antonino, A. C., Simões, D. F., Pragana, R.B. (2013). Efeito da umidade e densidade do solo na resistência a penetração de um solo de textura Areia Franca. XXXIV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo.
- Ferreira, M.C., Vieira, D.L.M., 2017. Topsoil for restoration: Resprouting of root fragments and germination of pioneers trigger tropical dry forest

regeneration. *Ecol. Eng.* 103, 1–12.

Guariz, H. R., Campanharo, W. A., Picoli, M. H. (2009). Variação da umidade e da densidade do solo sob diferentes coberturas vegetais. *XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*.

INMET. (2020). Instituto Nacional de Meteorologia. Acesso em janeiro de 2020. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/>.

International Paper. (2017). Resumo Publico - Plano de Manejo.

Ishaq, M., Ibrahim, M., Hassan, A., Saeed, M., Lal, R. (2001). Subsoil compaction effects on crops on Punjab, Pakistan. *Soil & Tillage Research*, 153-161.

Jankovsky, M., Allman, M., Allmanova, Z., Ferencik, M., Vlckova, M. (2019). Changes of key soil parameters five years after forest harvesting suggest slow regeneration of disturbed soil. *Journal of Sustainable Forestry*, 38, 369-380.

Likens, G. E., Eaton, J. E. (1970). A Polyurethane Stemflow Collector for Trees and Shrubs. *Ecology*. 51, 938-939.

Prevedello, L. C. L., Maggiotto, S. R., Loyola, J. M. T., Dias, N. L., Neto, G. B. (2007). Balanço de água por aquisição automática de dados em cultura de trigo (*triticum aestivum* L.). *R. Bras. Ci. Solo*. 31, 1–8.

Martins, F. P., Santos, E. L., (2017). Taxa de infiltração da água e a resistência do solo a penetração sob sistemas de uso e manejo. *Acta Iguazu*. 6.

Melloni, R., Melloni, E. G., Alvarenga, M. I., Vieira, F. B. (2008). Avaliação da qualidade de solos sob diferentes coberturas florestais e de pastagem no sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, 32, 2461-2470.

Mohieddinne, H., Brasseur, B., Spicher, F., Gallet-Moron, E., Bridant, J. Kobaissi, A., Horen, H. (2019). Physical recovery of forest soil after compaction by heavy machines, revealed by penetration resistance over multiple decades. *Forest Ecology and Management*, 449, 117472.

Moraes, M. F., Oliveira, G. C., Kliemann, H. J., Severiano, E. C., Sarmiento, P. H. L., Nascimento, M. O. (2002). Densidade e porosidade do solo como diagnóstico do

estado de degradação de solos sob pastagens na região dos Cerrados. In: V Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas, Belo Horizonte. Anais do V Simpósio Nacional sobre Recuperação de Áreas Degradadas: água e biodiversidade. Belo Horizonte – MG : *SOBRADE*. 256-258.

- Oliveira, R. T., Rocha, L. C., Fiorillo, C. A. (2010). Caracterização física dos solos sob diferentes usos. *Revista Arogeoambiental*.
- Ortiz, P.F.S., Rolim, M.M., Lima, J.L.P. De, Dantas, M.S.M., Tavares, U.E., Pedrosa, E.M.R. (2017). Physical qualities of an Ultisol under sugarcane and Atlantic forest in Brazil. *Geoderma*. 11, 62–70.
- Pacheco, E. P., Cantalice, J. R. (2011). Análise de trilha no estudo dos efeitos de atributos físicos e matéria orgânica sobre a compressibilidade e resistência à penetração de um argissolo cultivado com cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 35, 417-428.
- Ribeiro, A. I., Longo, R. M., Filho, A. P., Medeiros, G. A., Fengler, F. H., Mello, G. F. (2013). Análise de resistência mecânica a penetração do solo na avaliação de áreas em estágios avançados de recuperação. *IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*, 5.
- Saciloto, G. A. (2017). Caracterização de mamíferos de médio porte e grande porte na RPPN Floresta das Águas Perenes. *Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba*.
- Sattler, M. A. (2006). Variabilidade Espacial De Atributos De Um Argissolo Vermelho-Amarelo Sob Pastagem E Vegetação Nativa Na Bacia Hidrográfica Do Itapemirim. Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre.
- Silva, A. R., Silva, L. L., Frazão, J. J., Salgado, F. H., Silva, M. C., Correchel, V. (2012). Resistência mecânica à penetração do solo com diferentes coberturas vegetais sob sistema. *Revista Científica Eletrônica de Agronomia*, 22.
- Silva, E. A., Uribe-Opazo, M. A., Rocha, J. V., Souza, E. G. (2003). Um estimador robusto e o semivariograma cruzado na análise de variabilidade espacial de atributos do solo e planta. *Acta Scientiarum*, 25, 365-371.

- Silveira, D. C., Filho, J. F. M., do Sacramento, J. A. A. S., Silveira, E. C. P. (2010) Relação umidade versus resistência à penetração para um argissolo amarelo distrocoeso no recôncavo da Bahia. *R. Bras. Ci. Solo*, 34, 359-367.
- Sousa, F. H., Neto, V. L., Patriota, J. N., Sales, N. I., Neves, C. O., Lima, S. O. (2015). Atributos físicos do solo em diferentes coberturas florestais. *Amazônia: Ciência & Desenvolvimento*, 11.
- Souza, E. D., Carneiro, M. A., Paulino, H. B. (2005). Atributos físicos de um Neossolo Quartzarênico e um Latossolo Vermelho sob diferentes sistemas de manejo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 40, 1135-1139.
- Sun, G., Zhou, G., Zhang, Z., Wei, X., McNulty, S. G., Vose, J. M. (2006). Potential water yield reduction due to forestation across China. *Journal of Hydrology*, 548-558.
- Timm, L. C., Pires, L. F., Roveratti, R., Arthur, R. C., Reichardt, K., Oliveira, J. C. (2006). Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. *Sci. Agric.*, 63, 55-64.
- To, J., Kay, B. D. (2005). Variation in penetrometer resistance with soil properties: The contribution of effective stress and implications for pedotransfer function. *Geoderma*, 126, 261-276.
- Toivio, J., Helmissaari, H.S., Palviainen, M., Lindeman, H., Ala-Illomäki, J., Sirén, M., Uusitalo, J. (2017) . Impacts of timber forwarding on physical properties of forest soils in southern Finland. *For. Ecol. Manage.* 405, 22–30.
- Turgut, B. (2012). Soil compactation in forest soils. *SDU Faculty of Forestry Journal*, 66-73.
- USDA - United States Department of Agriculture. (1993). Soil survey manual. Washington, Soil Survey Division Staff. (Agriculture Handbook, 18). 437
- Whalley, W. R., To, J., Kay, B. D., Whitmore, A. P. (2007). Prediction of the penetrometer resistance of soils with models with few parameters. *Geoderma*, 137, 370-377.
- Yang, L., Wei, W., Chen, L., Chen, W., Wang, J. (2014). Response of temporal variation

of soil moisture to vegetation restoration in semi-arid Loess Plateau, China.
Catena. 115, 123-133.

CAPITULO IV – EFEITOS DA REGENERAÇÃO NATURAL DO BIOMA CERRADO NAS PROPRIEDADES HIDROLÓGICAS DO SOLO

RESUMO

Na ciência do solo, a taxa de infiltração é definida como a taxa no qual o solo é capaz de absorver chuvas ou água de irrigação, portanto, a infiltração é o processo de entrada de água no solo, nas primeiras camadas. Um importante fator é a condutividade hidráulica (K), que pode ser definida como a velocidade de infiltração no estado estacionário. A infiltração de água no solo é um sistema complexo devido principalmente à heterogeneidade e anisotropia do solo. Esse trabalho teve como objetivo identificar os efeitos da regeneração natural nas propriedades hidrológicas do solo. A pesquisa foi desenvolvida em uma Reserva Particular de Patrimônio Natural – RPPN situada na bacia do Rio Jacaré Pepira localizada no município de Brotas – SP. A área foi dividida em 3 fragmentos de regeneração, fragmento A (FA) com 46 anos, fragmento B (FB) com 11 anos e fragmento C (FC) com 5 anos. Para o cálculo da Velocidade Básica de Infiltração (VBI) Condutividade hidráulica do solo (K), foi utilizado o infiltrômetro de sucção mini disk. Para o teste de repelência de água no solo foi utilizado o método a partir das diferenças das sorvidades de etanol a 95% e água. Os tratamentos com regeneração mais avançada, ou seja, com maior número de indivíduos arbóreos, apresentaram valores de VIB classificados como alta e muito alta, além de apresentar uma menor repelência a água, enquanto o tratamento sem indivíduo arbóreo apresentou velocidade moderadamente rápida e a maior repelência a água, demonstrando que o avanço da regeneração natural promoveu uma melhoria nas propriedades hídricas do solo.

Palavras-chave: Restauração Florestal; Hidrologia Florestal; Velocidade de Infiltração Básica; Condutividade hidráulica; Repelência de água do solo.

ABSTRACT

In soil science, the infiltration rate is defined as the rate at which the soil is able to absorb rain or irrigation water, so infiltration is the process of water entering the soil in the first layers. An important factor is the hydraulic conductivity (K), which can be defined as the rate of infiltration at steady state. Water infiltration into the soil is a complex system due mainly to the heterogeneity and anisotropy of the soil. This work aimed to identify the effects of natural regeneration on soil hydrological properties. The research was developed in a Private Reserve of Natural Heritage - RPPN located in the Jacaré Pepira River basin located in the municipality of Brotas - SP. The area was divided into 3 regeneration fragments, fragment A (FA) aged 46, fragment B (FB) aged 13 and fragment C (FC) aged 5. To calculate the Basic Infiltration Speed (VIB) and the hydraulic conductivity of the soil (K), the mini disk suction infiltrometer was used. For the soil water repellency test, the method was used based on the differences in the sorbities of 95% ethanol and water. The treatments with more advanced regeneration, that is, with a greater number of arboreal individuals, presented VIB values classified as high and very high, in addition to presenting less water repellency, while the treatment without arboreal individual presented moderately fast speed and the highest water repellency, demonstrating that the advancement of natural regeneration promoted an improvement in soil water properties.

Keywords: Forest Restoration; Forest Hydrology; Basic Infiltration Speed; Hydraulic conductivity; Soil Water Repellency.

1. INTRODUÇÃO

A infiltração é o processo de entrada de água no solo (Hillel e Baker, 1988), nas primeiras camadas, e sua taxa é definida na ciência do solo, como a taxa de água que o solo consegue absorver, ela é governada pela gravidade e pela ação capilar (Fatehnia, 2015). Pode ser separado em escala de curto e longo prazo. A resposta em escala de curto prazo depende da relação entre sorvidade (S): umidade do solo e reflete o potencial capilar e a infiltrabilidade do solo. A resposta em escala de longo prazo depende da condutividade hidráulica: Relação de umidade do solo e reflete o potencial gravitacional (Philip, 1957, Smith, 2002, Moody et al., 2009).

Essa condutividade hidráulica pode ser definida como a velocidade de infiltração no estado estacionário quando a água é fornecida na superfície do solo sob condições zero de lagoa e o gradiente hidráulico é igual a um (Fatehnia et al., 2014). A infiltração de água no solo é um sistema complexo devido principalmente à heterogeneidade e anisotropia do solo (Chowdary et al., 2006). Que desempenha um papel central no ciclo hidrológico (Bruce e Klute, 1956, Philip, 1957, Gardner, 1958, Parlange, 1972, Zhang et al., 2010, Su et al., 2017). Influenciando muitos aspectos naturais e de engenharia, como cálculo de produção de escoamento hidrológico, irrigação e drenagem de terras agrícolas, avaliação de recursos de água subterrânea, prevenção de salinização da água do solo, tudo com aplicação prática. (Su et al., 2017), como projeto de sistemas de drenagem e medição de infiltração de reservatórios, lagoas de detenção ou lagoas de esgoto (Fatehnia, 2015).

Mas a taxa de infiltração também é influenciada pelo conteúdo de água, densidade de campo, cabeça de sucção, temperatura, umidade e intensidade das chuvas (Sihag et al., 2017).

A infiltração no solo é um processo desacelerado (Araújo Filho e Ribeiro, 1996) pois no início do processo quando o solo está mais seco o potencial matricial é relativamente grande quando comparado com o potencial gravitacional, mas ao longo do processo eles passam a se igualar (Reichardt, 1987) até assumir um valor constante o qual é então denominado velocidade básica de infiltração (VBI) (Silveira et al., 2018).

Suas taxas reduzidas podem ser causadas pelo entupimento dos poros do solo por polissacarídeos produzidos microbialmente, pelas propriedades inerentes repelentes à

água do solo ou crostas e pelo processo de vedação da superfície, (Doerr et al., 2000), causado pelo inchaço combinado de micro-organismos e partículas finas do solo quando molhado (Belnap et al., 2003, Yair, 2003, Lichner et al., 2010). Os estudos sobre as taxas de infiltração de água no solo são extremamente importantes para o planejamento do manejo e das técnicas de conservação, sistemas de irrigação e compreensão do solo e sobre retenção de água no solo (Paixão et al., 2004).

1.1. Infiltração e o meio ambiente

É provável que eventos climáticos extremos, como secas, ocorram com mais frequência em diferentes escalas espaciais e temporais no futuro (IPCC, 2001, Farkas et al., 2009, Orfánus et al., 2014), o que pode intensificar o escoamento superficial e a erosão do solo, criando uma infiltração irregular (Imeson et al., 1992, Shakesby et al., 1993, Orfánus et al., 2014).

Nas secas, ocorre redução da molhabilidade do solo, o que reduz a infiltração, causando crescimento irregular de pastagens e vegetação de pastagens, o que é percebido como efeito negativo (DeBano, 1981, Moore et al., 2010).

Os longos períodos de seca também aumentam a capacidade de infiltração do material molhável, devido ao aumento da capacidade de absorção com a diminuição do teor de água no solo (Orfánus et al., 2014).

As secas de verão com temperatura elevada na superfície do solo tornaram-se mais frequentes (Lichner et al., 2010), assim como a frequência e intensidade de fortes chuvas após longos períodos secos e quentes também estão aumentando (Hardy, 2003, Fařsko et al., 2008, Lichner et al., 2010) promovendo o escoamento superficial e conseqüentemente aumentando a qualidade da água da corrente de erosão do solo (Onderka e Pekárová, 2008), que prejudicam as taxas de infiltração.

Outro fator relacionado à taxa de infiltração e às propriedades hidrológicas dos pesquisadores é a cobertura do solo, principalmente a vegetação que tende a induzir o aumento da infiltração principalmente em solos arenosos (Eldridge, 2003, Warren, 2003, Yair, 2003, Lichner et al., 2010).

Além disso, os musgos, presentes em raízes de plantas, podem atuar como um canal para a água no solo devido à sua arquitetura foliar com pontas longas ou pontas de

rios nas folhas (Eldridge, 2003, Lichner et al., 2010), portanto as raízes das árvores também auxiliam no processo de infiltração e percolação de água no solo.

Além dos musgos das raízes, há os superficiais, as crostas dominadas por cianobactérias tendem a impedir a infiltração em solos arenosos, enquanto as crostas dominadas por musgo aumentam a infiltração e reduzem o escoamento (Warren, 2003).

Em pesquisa realizada por Lichner et al., (2010), concluiu-se que o tipo de cobertura vegetal e as condições climáticas influenciaram fortemente as propriedades hidrológicas do solo arenoso eólico, tanto o tempo de penetração da gota de água (WDPT) quanto o índice de repelente à água (WR) diminuiu na ordem: solo da floresta > solo da clareira \approx solo da pastagem > areia pura. Isso se refletiu na absorção de água S_w (-2 cm) e na condutividade hidráulica k (-2 cm), que tiveram a tendência oposta: solo da floresta < solo de clareira \approx solo de pastagem < areia pura.

Esse trabalho teve como objetivo identificar os efeitos da regeneração natural nas propriedades hídricas do solo em diferentes estágios da regeneração.

2. MATERIAL E METODOLOGIA

O estudo se desenvolveu na Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Floresta das Águas Perenes situada, em Brotas – São Paulo - Brasil (Figura 1) e em área de recarga hídrica do Aquífero Guarani. Em 2011, a área foi reconhecida pelo Forest Stewardship Council como uma Floresta de Alto Valor de Conservação, com o objetivo de manter o Atributo de Alto Valor de Conservação 4 de Serviços ambientais críticos (International Paper, 2017, FSC Brasil, 2014), sendo esses, serviços ambientais básicos como a proteção de bacias hidrográficas. A RPPN se estende por mais de 809,78 ha de Cerrado, e sua fitofisionomia é caracterizada como vegetação secundária dos tipos Cerrado Típico e Cerradão (Bessi et al., 2018). Segundo Köppen/Geiger, a classificação climática de Brotas-SP é Cwa, com 1337 mm de precipitação média anual e 20°C de temperatura média anual. A área se localiza na região de transição entre Neossolo quatzarenico e Latossolo vermelho-amarelo com textura Arenosa.

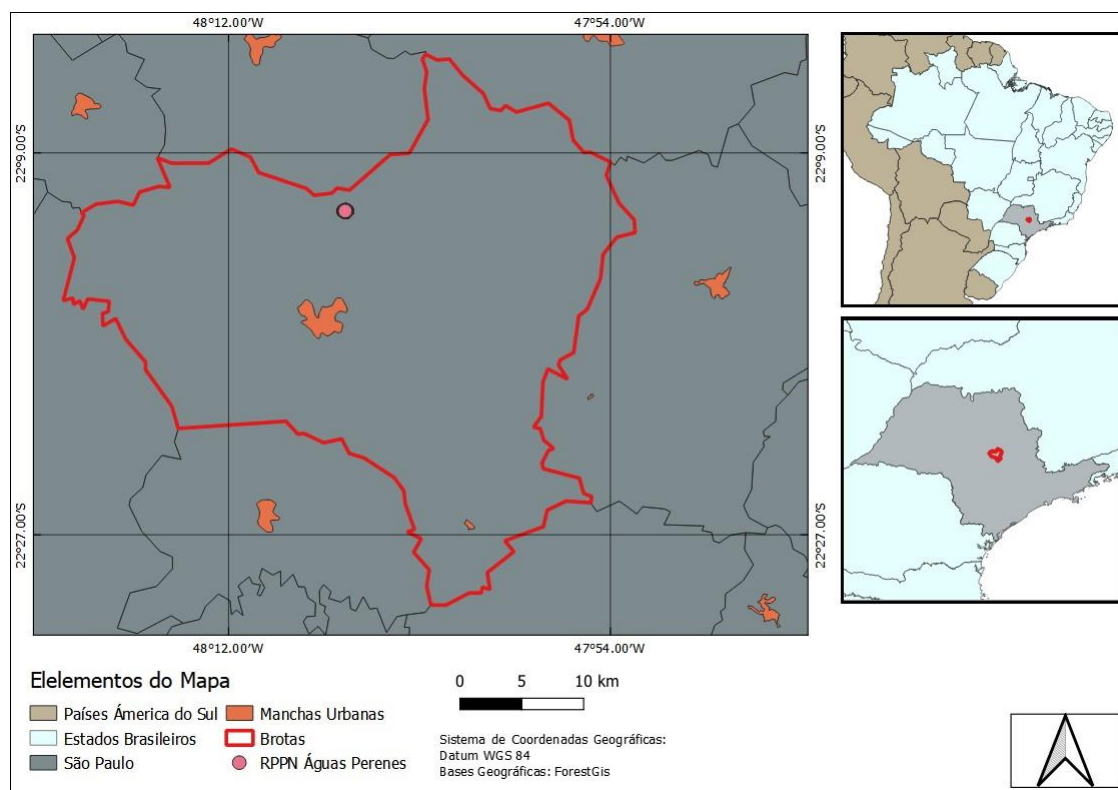
O estudo da infiltração de água foi realizado em três fragmentos florestais em diferentes estágios de condução de regeneração natural, sendo que o fragmento A (FA)

está em regeneração à 46 anos (Figura 2a), o fragmento B (FB) está em regeneração à 13 anos (Figura 2b) e o fragmento C (FC) à 5 anos (Figura 2c). Os fragmentos são adjacentes uns aos outros, distantes à 80 metros, aproximadamente. Anteriormente à condução da regeneração natural, a área era utilizada para plantio de *Eucalyptus* sp.

Em cada fragmento foram instaladas 3 parcelas de 20m por 20m totalizando 400m² separadas por 10 metros lineares. O experimento foi conduzido de maio de 2018 a abril de 2019, onde os dados de chuva, precipitação interna, escoamento pelo tronco e capacidade retenção hídrica da serapilheira foram monitorados mensalmente.

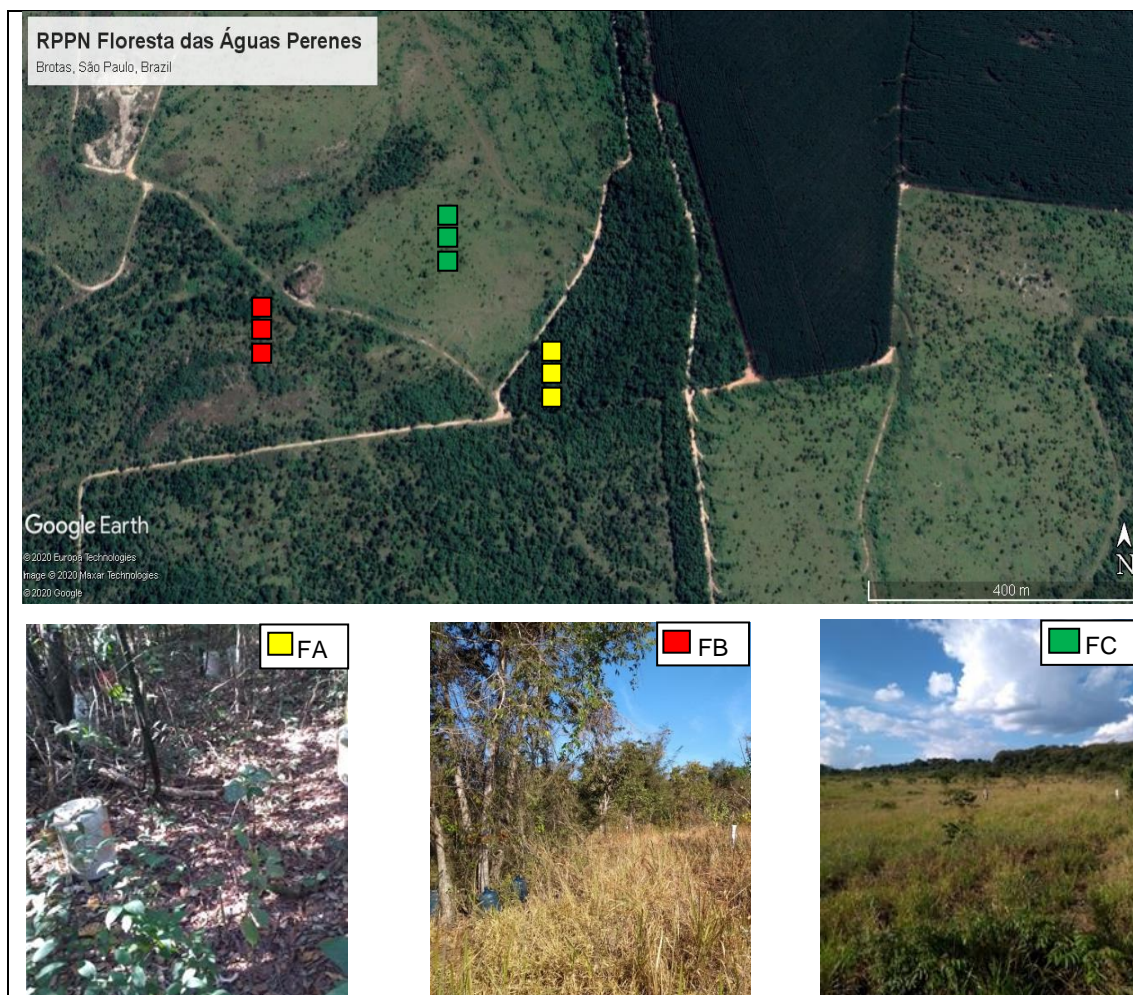
Nas parcelas, foram medidos o diâmetro do tronco a 1,3 m de altura, a altura das árvores, a densidade do dossel e a densidade das árvores (Tabela 1),

Figura 1: Localização do município de Brotas – SP.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 2: Localização das parcelas e dos fragmentos A (FA), B (FB) e C (FC), RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas, SP.



Fonte: O Autor, 2020.

Tabela 1: Características dos fragmentos. RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas-SP.

Fragmentos	Idade da regeneração (anos)	Diâmetro Médio do Tronco (cm)	Altura Média (m)	Área do Dossel Média (m ²)	Densidade (árvores/ha)
A	46	10,83	8,45	9,03	1408,3
B	13	11,75	6,12	12,84	225,0
C	5	12,89	5,1	22,06	16,7

Fonte: O Autor, 2020.

2.1 Precipitação em aberto e precipitação efetiva

A precipitação foi monitorada por pluviômetros instalados próximo ao local, com uma distância máxima de 30 m. Para impedir a entrada de folhas, insetos e pequenos animais que pudessem interromper o fluxo da água e minimizar a evaporação da água, um funil foi colocado no topo dos pluviômetros. As precipitações foram calculadas pela equação:

$$P = \frac{V (mL)}{A (m^2)} \times 10 \quad (1)$$

Onde P é a precipitação (mm), V é o volume do pluviômetro (mL), e A é a área do pluviômetro (cm²).

Os pluviômetros foram instalados a uma altura de 1,20 m do solo, foi obtido informação de 25 pluviômetros distribuídos ao longo da área de estudo, a precipitação interna foi calculada pela equação:

$$Tf = \sum_{ni}^x \frac{\left[\frac{V}{A} \times 10 \right]}{ni} \quad (2)$$

Onde Tf é a precipitação interna (mm), V é o volume do pluviômetro (mL), A é a área do pluviômetro (cm²), e ni e o número de pluviômetros.

O escoamento pelo tronco foi realizado em árvores com diâmetro na altura do peito (DAP) > 5 cm. As árvores foram envolvidas por uma calha de poliuretano, com base na metodologia proposta por Likens e Eaton (1970), fixada a 1,30m do solo. A água, que é drenada através da superfície da haste, é direcionada por uma mangueira de 5/8" para coletores de 20L. O escoamento pelo tronco foi obtido pela equação:

$$Sf = \frac{Vt}{K} \quad (3)$$

Onde Sf é o escoamento pelo tronco (mm), Vt é o total de volume coletado (L), e K é a projeção da área do dossel.

As amostras de precipitação, precipitação interna e escoamento pelo tronco foram medidas em campo usando um cilindro de medição de 1 L (com graduações de 0,5 L) ou balde graduado de 20 L (com graduações de 0,5 L).

A precipitação interna e o escoamento pelo tronco foram utilizados para o cálculo da precipitação efetiva através da soma destes.

2.2 Amostras de Infiltração de água no solo

As amostras de infiltração foram coletadas mensalmente utilizando o infiltrômetro de sucção Mini Disk da Meter Group, sendo 3 repetições de amostras em cada parcela, totalizando 9 amostras mensais independentes e ao acaso para cada fragmento e mês. O infiltrômetro Mini Disk consiste em um tubo com uma câmara de água superior e uma câmara de água inferior ou uma ligação entre elas com um tubo de sucção, o qual deve ser utilizado com a medida recomendada para cada tipo de solo. Neste caso, considerando que o solo da área de pesquisa é arenoso, foi utilizada a taxa de sucção 2.

2.3 Velocidade Básica de Infiltração (VBI)

A velocidade básica de infiltração foi calculada através do método proposto por (Zhang, 1997), sendo simples e bem utilizado para medições de infiltração em solo seco. O método requer a medição da infiltração acumulada versus o tempo e ajustes dos resultados com a função (equação 4):

$$I = C1t + C2\sqrt{t} \quad (4)$$

Onde, C1 (cm s^{-1}) corresponde à condutividade hidráulica, C2 (m s^{-1}) à capacidade de absorção do solo e t = tempo (s).

Dessa forma, os dados de infiltração acumulada (cm) em razão do tempo (t) foram transformados em mm/h para serem computados como velocidade básica de infiltração.

2.4 Condutividade Hidráulica (K)

A condutividade hidráulica para o solo (k) foi calculada a partir da fórmula (equação 5) abaixo proposta por (Zhang, 1997)

$$k = \frac{C1}{A} \quad (5)$$

Onde, $C1$ é a inclinação da curva da infiltração cumulativa versus a raiz quadrada do tempo, e A é um valor que relaciona os parâmetros de van Genuchten para um determinado tipo de solo com a taxa de sucção e o raio do disco do infiltrômetro.

2.5 Amostras do teste de repelência de água no solo (R)

Para o teste de repelência de água no solo foi utilizado o método proposto por Lichner, et al., (2007) no qual pode ser determinado a partir das sorvidades de etanol a 95% e água.

É recomendado que esse teste seja realizado no período de seca para obtenção de um resultado mais preciso. Sendo assim, o teste foi realizado em julho de 2019, com 2 repetições em cada parcela, portanto, 9 amostras de cada fragmento.

Para o cálculo da sorvidade de etanol e de água, foi necessário utilizar o infiltrômetro de duas maneiras no mesmo local, uma sendo da maneira tradicional com água em ambas câmaras da qual se obtém os dados de água e para obtenção dos dados de etanol, utilizou-se o infiltrômetro com água na câmara superior e etanol na câmara inferior, ambos com taxa de sucção de 2cm.

Com os dados de infiltração da água e do etanol obtidos através do teste de repelência realizado em julho de 2019, foi calculado a sorvidade através da equação 6 de Tillman et al. (1989).

$$I = Se\sqrt{t} \text{ ou } I = Sw\sqrt{t} \quad (6)$$

Onde: I é a infiltração acumulada em cm, t é tempo em segundos o Se é a sorvidade do etanol e ($\text{cm s}^{-1/2}$) e Sw a sorvidade da água e ($\text{cm s}^{-1/2}$)

Com ambas sorvidades calcula-se então o índice de repelência da água no solo através da equação 7 abaixo proposta por Lichner et al. (2007).

$$R = 1.95 * \frac{Se}{Sw} \quad (7)$$

2.6 Análise de dados

Os dados foram submetidos ao teste de homocedasticidade das variâncias pelo Bartlett test e de normalidade pelo Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov), ambos foram processados pelo software R, em seguida foi realizada a análise de variância nos dados que apresentaram distribuição normal com teste de Tukey a 5% de probabilidade nos que

apresentaram diferença significativa. Dados que não atenderam aos pressupostos para ANOVA, foram submetidos ao teste não paramétrico Kruskal-Wallis para avaliar se havia diferença estaticamente significativa entre as medianas dos dados, o qual também se procedeu no software R.

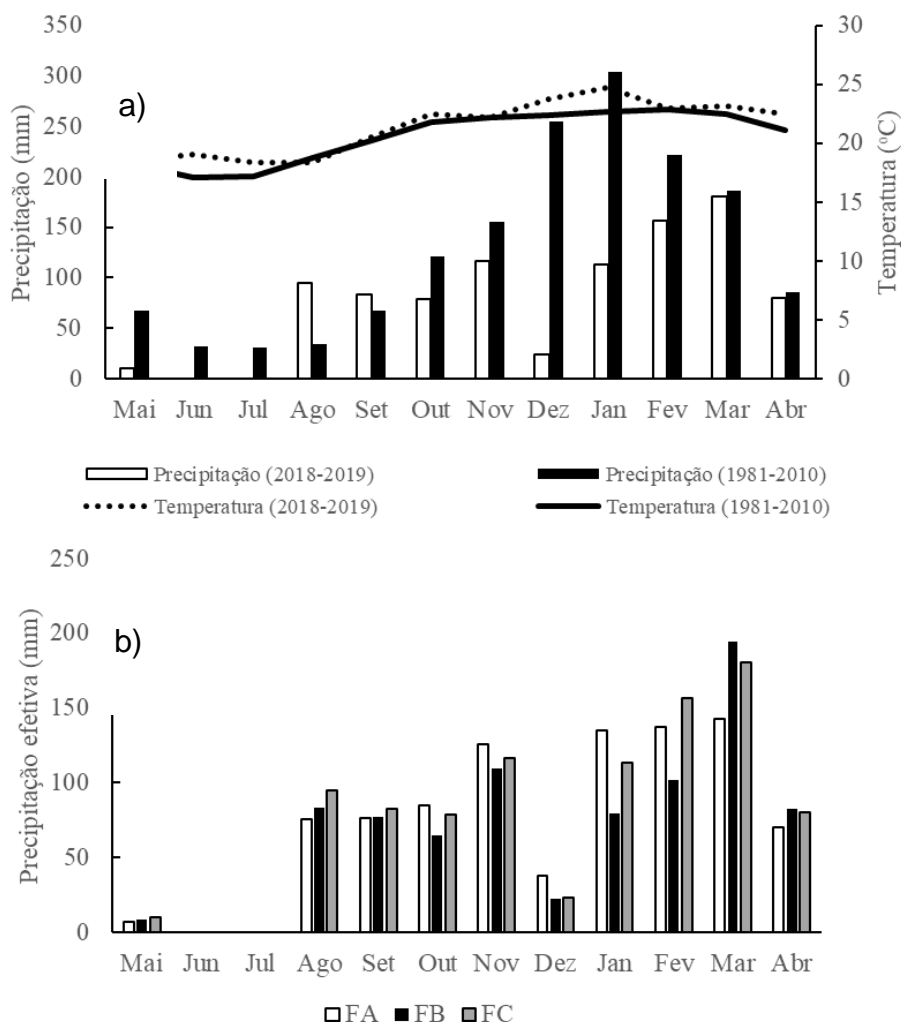
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Precipitação em aberto e precipitação efetiva

A precipitação em aberto acumulada durante o período da pesquisa foi de 936,7 mm, 6,3% superior à chuva registrada para o mesmo período (877,8 mm) pela estação meteorológica oficial do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2020). Ao comparar o volume de chuva no local de pesquisa com a normal climatológica de 1981-2010, constatou-se ainda que o período de monitoramento foi um ano atípico, onde a chuva esteve cerca de 44% abaixo da média. A temperatura média foi de 21,6°C e esteve superior em 5% ao registrado nas normais climatológicas (20,6°C), com maior temperatura média em dezembro (24,7°C) e a menor em julho (18,3°C) (Figura 3a).

Com relação à precipitação efetiva (PE), observou-se que FA e FB apresentaram 894,6 mm ano⁻¹ e 824,1 mm ano⁻¹, respectivamente, ou seja, 4,5% e 12% inferiores à precipitação em aberto. Já o fragmento C, sendo uma área muito jovem, quase sem indivíduos arbóreos, apresentou sua PE semelhante à precipitação em aberto (Figura 3b).

Figura 3. Precipitação acumulada e temperatura média do período 2018 à abril de 2019 e normais climatológicas (1981-2010) (a), Precipitação efetiva nos fragmentos (b).



Fonte: O Autor, 2020.

3.2 Velocidade Básica de Infiltração (VBI)

FA e FB apresentaram valores médios de VBI próximos (FA=76,43mm.h⁻¹; FB=77,448 mm.h⁻¹), ambos classificados como velocidade rápida de acordo com Neto (1999) e como velocidade muito alta de acordo com Bernardo et al. (2006), enquanto FC com VIB média de 55,79 mm.h⁻¹ foi classificada em velocidade moderadamente rápida por Neto (1999) e como velocidade muito alta de acordo com Bernardo et al., (2006) (Tabela 3).

Tabela 2: Dados de Velocidade Básica de Infiltração (VBI) (mm.h⁻¹).

Mês	Fragmento		
	FA	FB	FC
Maio	7,24	21,85	4,10
Junho	13,11	0,00	6,15
Julho	2,27	18,17	30,39
Agosto	0,00	1,41	29,04
Setembro	156,10	98,84	37,79
Outubro	110,87	184,96	196,67
Novembro	102,25	185,24	14,54
Dezembro	49,12	68,29	31,30
Janeiro	66,06	38,54	12,27
Fevereiro	196,46	232,22	208,82
Março	170,36	44,03	88,32
Abril	43,37	36,26	10,17
Média	76,43	77,48	55,79

Fonte: O Autor, 2020.

Tabela 3: Classificação de velocidades básica de infiltração (VBI) Neto et al (1999) e Bernardo et al (2006).

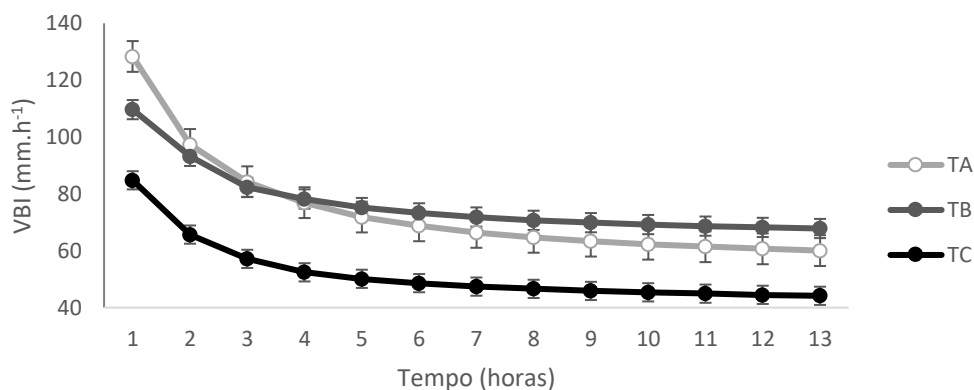
Classe	VBI (mm/h)	Classe	VBI (cm/h)	VBI (mm/h)
Muito lenta	<2	Baixa	<0,5	<5
Lenta	3 a 5	Média	0,5 a 1,5	5 a 15
Moderadamente lenta	6 a 12	Alta	1,5 a 3	15 a 30
Moderada	13 a 30	Muito alta	>3	>30
Moderadamente rápida	31 a 60			
Rápida	61 a 100			
Muito rápida	101 a 200			
Extremamente rápida	>200			
Fonte: Neto et al (1999).		Fonte: Bernardo et al (2006).		

Fonte: Neto et al. (1999) e Bernardo et al. (2006).

Ainda que a média de VBI de TB tenha sido superior à de FA, podemos observar que a infiltração no fragmento A é maior nas primeiras horas, ao ultrapassar as primeiras camadas do solo da floresta mais desenvolvida, mas sua velocidade permanece reduzindo ao longo do tempo (Figura 4). Em contrapartida, em FB a velocidade se estabiliza mais rápido do que FA, sendo sua velocidade inicial e amplitude de variação menor.

O fragmento C é o que mais se difere, sendo o que possui a menor média de VBI e a menor velocidade inicial e final também, resultado esse esperado já que se trata da área de regeneração mais jovem, com menos indivíduos arbóreos.

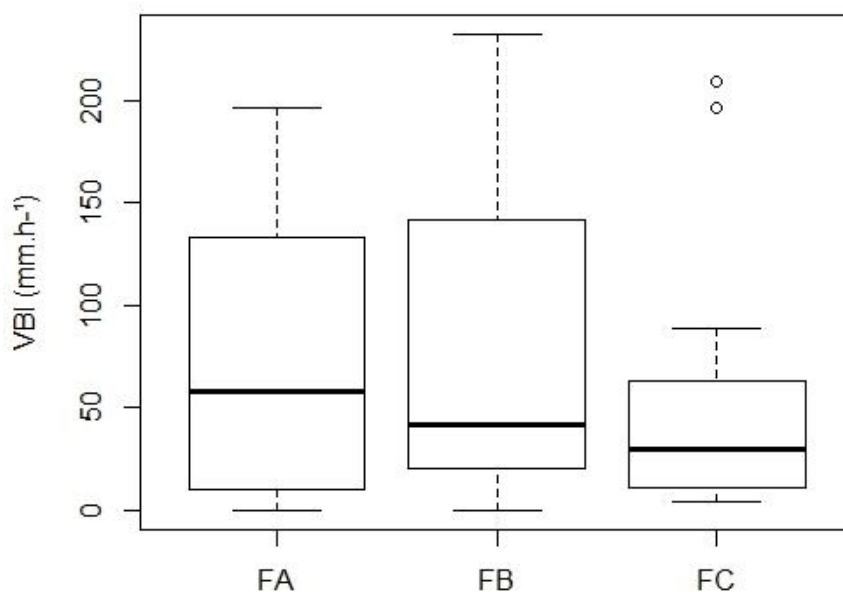
Figura 4: Velocidade Básica de Infiltração (VBI) média por hora para cada fragmento.



Fonte: O Autor, 2020.

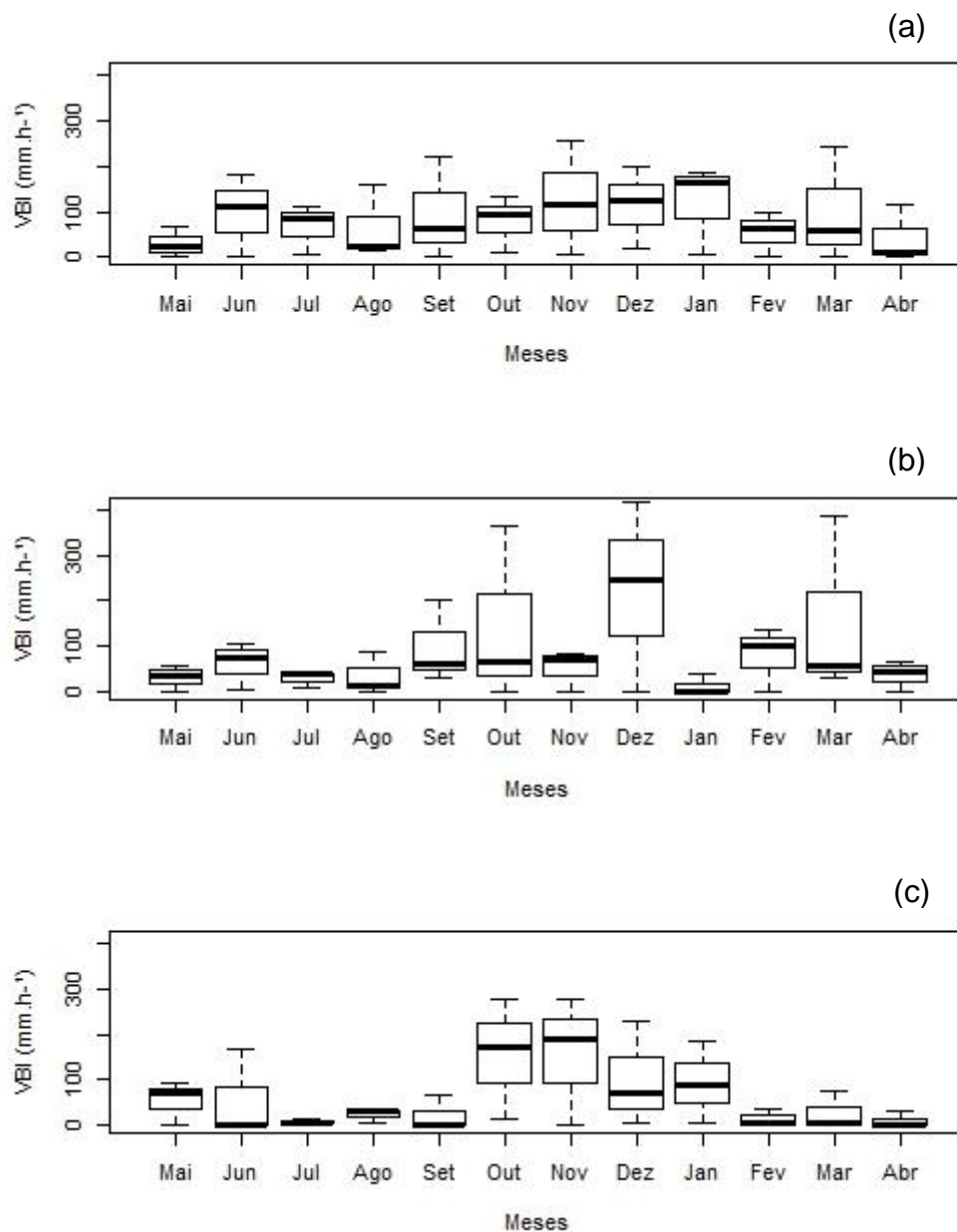
Após realizar o teste de normalidade e homocedasticidade nos dados de velocidade de infiltração de água do solo, obteve-se que apenas o fragmento A (p -valor=0,61) possui distribuição normal. Para esse, foi aplicado o teste não paramétrico Kruskal-Wallis apontou que as medianas dos fragmentos não possuem diferença significativa, muito embora as medianas dos meses tenham apresentado diferenças (p -valor= $p=0,0036$) (Figura 5). Desse modo, velocidade básica de infiltração (VBI) sofreu influência do período do ano em FA (Figura 6).

Figura 5: Bloxpot da Velocidade Básica de Infiltração a média (VBI, mm.h⁻¹) para os Fragmentos A, B e C.



Fonte: O Autor, 2020.

Figura 6: Bloxpot da Velocidade Básica de Infiltração (VBI, mm.h-1) mensal no (a) Fragmento A - FA, (b) Fragmento B - FB e (c) Fragmento C - FC.



Fonte: O Autor, 2020.

Em uma área de cultivo de soja perene, foi identificada uma VBI de 100mm.h^{-1} classificada como rápida, enquanto que em uma área de manobra de trator a VBI média foi de 25mm.h^{-1} classificada como moderada (Silveira et al., 2018).

Pereira et al. (2019) obtiveram expressivas taxas de infiltração para áreas de floresta natural com 60cm.h^{-1} (600mm.h^{-1}) e de florestas de Pinus com $34,5\text{cm.h}^{-1}$ (345mm.h^{-1}) reforçando a qualidade de zonas de recarga hídrica exercidas por florestas.

Magalhães, (2020) obteve resultados de $2,89\text{cm.h}^{-1}$ ($28,9\text{mm.h}^{-1}$) para área de Integração Lavoura Pecuária Floresta – ILPF, $2,65\text{cm.h}^{-1}$ ($26,5\text{mm.h}^{-1}$) em área de cultivo de grãos, $8,10\text{cm.h}^{-1}$ (81mm.h^{-1}) em área de pastagem e $4,12\text{cm.h}^{-1}$ ($41,2\text{mm.h}^{-1}$) em plantio de eucalipto, uma das justificativas para o aumento da velocidade de infiltração da área de pastagem se deve pelo fato da mesma ter passado pelo processo de subsolagem em 2018, proporcionando assim caminhos preferenciais com pouca resistência para a passagem da água.

Cunha et al. (2009) encontraram valores de VBI na ordem de 571 mm.h^{-1} em sistemas de plantio direto em Latossolo Amarelo.

Portanto os dados de Velocidade Básica de Infiltração (VBI) encontrados neste trabalho se encontram próximos aos valores encontrados em literatura com exceção apenas do trabalho de Pereira et al. (2019) que obtiveram valores de VBI em florestas nativas, todos acima de 300, portanto todos muito rápidos, mas considerando os demais trabalhos, notamos que todos os fragmentos, inclusive o FC ($55,79\text{ mm.h}^{-1}$), sendo uma área muito jovem caracterizada pelas braquiárias, encontra-se ainda com valores superiores aos normalmente encontrados em áreas de pastagem ($41,2\text{mm.h}^{-1}$) e de sistema ILPF ($26,5\text{mm.h}^{-1}$), e os valores de FA ($76,43\text{ mm.h}^{-1}$) e FB ($77,48\text{ mm.h}^{-1}$), ficaram próximos aos de plantios de Pinus (81mm.h^{-1}) (Magalhães, 2020).

Vale ainda ressaltar que ocorrem atividade de manejo tanto em áreas de cultivo agrícola como florestal. Ou seja, uma operação de subsolagem pode revolver o solo tornando-o mais permeável, enquanto que uma área de regeneração natural aguarda o retorno da floresta nativa sem intervenções, de maneira natural e gradativa.

3.3 Condutividade Hidráulica (K)

Através dos testes de normalidade e de homocedasticidade, foi possível observar a distribuição normal e homocedasticidade das medianas, sendo comprovada diferença estatística entre os meses ($p\text{-valor}<0,05$) pelo teste de Análise de Variância – ANOVA, mas não entre os fragmentos ($p\text{-valor}>0,05$) (Figura 7).

Apesar de existir uma variedade de valores de K, as médias dos fragmentos são próximos, tanto que não apresentaram diferença estatística FA ($25,51\text{ mm.h}^{-1}$), FB ($33,22\text{ mm.h}^{-1}$) e FC ($21,00\text{ mm.h}^{-1}$), contudo, se assemelham à outros trabalhos (Tabela 4). Em Cerrado nativo, por exemplo, Ngolo et al. (2017) obtiveram 24 mm.h^{-1} . Considerando ainda que FC está em estágio inicial de regeneração após o corte raso da cultura de

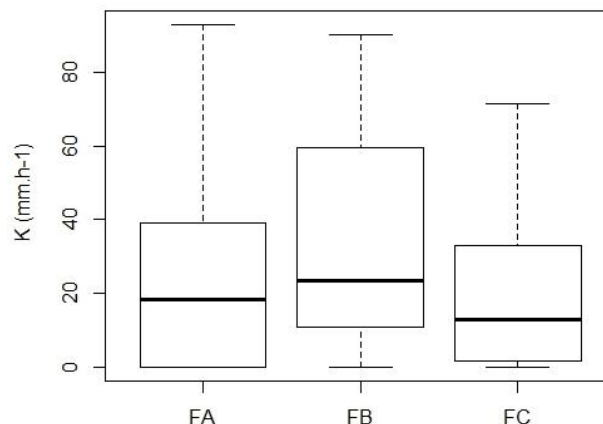
eucaliptos, esse tratamento apresentou um resultado muito semelhante ao de Ngolo et al. (2017) para uma área degradada ($21,1 \text{ mm.h}^{-1}$)

Tabela 4: Condutividade hidráulica não saturada média do solo ($K, \text{mm.h}^{-1}$) para os fragmentos A (FA), B (FB) e C (FC).

Mês	FA	FB	FC
Maio	0,0	17,2	0,0
Junho	0,0	0,0	0,0
Julho	0,0	9,7	16,2
Agosto	0,0	0,0	13,7
Setembro	37,1	45,0	18,6
Outubro	41,1	76,8	64,1
Novembro	33,9	74,1	3,2
Dezembro	10,3	32,3	12,0
Janeiro	26,6	12,0	0,00
Fevereiro	92,9	90,2	71,3
Março	55,0	29,78	47,5
Abril	9,3	11,6	5,4
Média	25,5	33,2	21,0

Fonte: O Autor, 2020

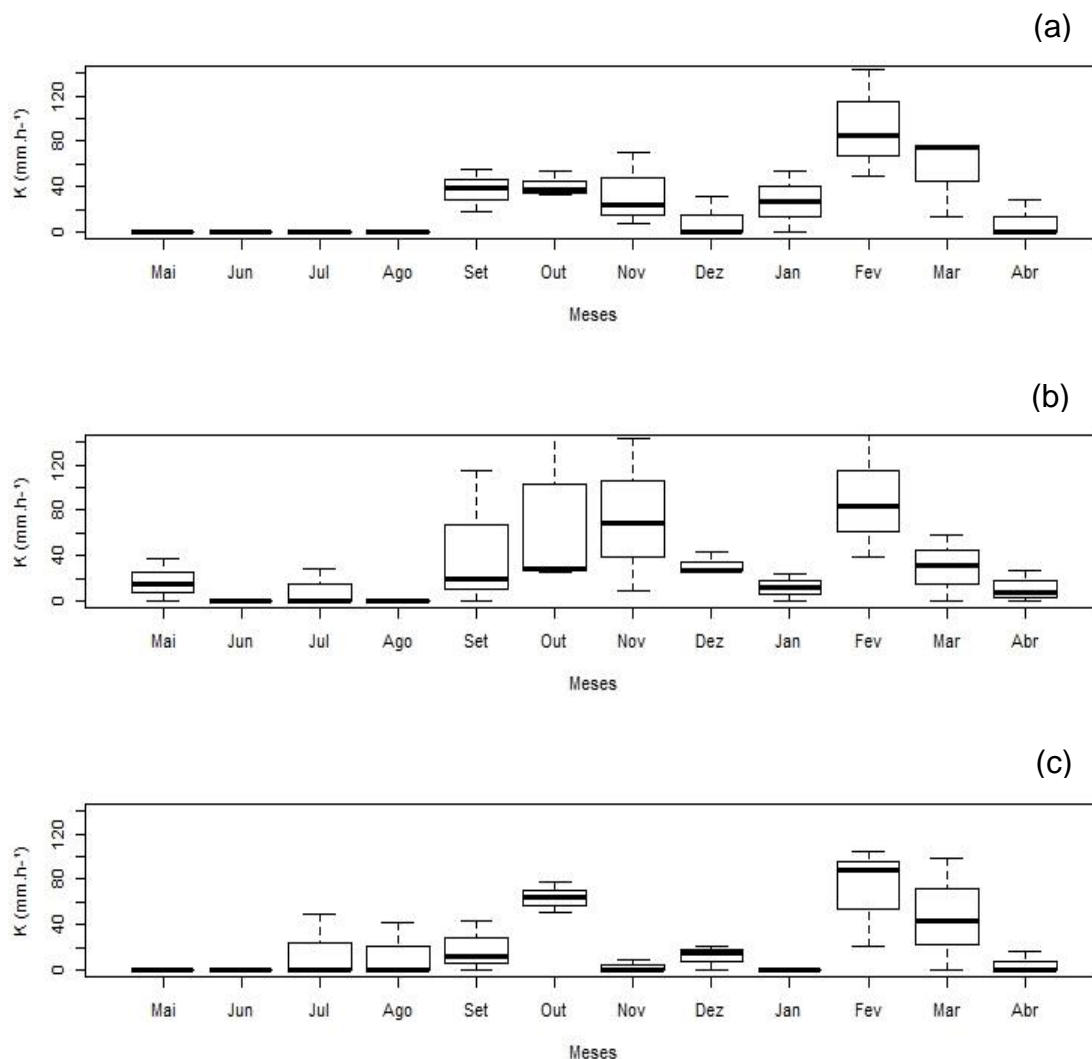
Figura 7: Bloxpot da Condutividade Hidráulica média (mm.h^{-1}) para os fragmentos A (FA), B (FB) e C (FC).



Fonte: O Autor, 2020.

Em seguida realizou-se a ANOVA separadamente nos dados de cada fragmento, de forma que apenas FA e FC apresentaram diferença estatística entre as médias dos meses ($p\text{-valor} < 0,05$), seguindo esses dados então para a realização do teste de Tukey, o qual demonstrou que as correlações de maiores diferenças foram entre os meses de maio, junho e julho com fevereiro em FA. FC teve comportamento semelhante à FA, sendo que essas diferenças foram ressaltadas nas combinações dos meses de janeiro, maio e junho com fevereiro também, sendo esse último o mês mais destoante em ambos fragmentos (Figura 8). FB não foi submetido ao teste de Tukey pois não apresentou diferença estatística entre as médias dos meses.

Figura 8: Bloxpot da Condutividade Hidráulica mensal (K, mm.h⁻¹) para os fragmentos A (a), B (b) e C (c).



Fonte: O Autor, 2020.

De acordo com Pirastru et al. (2013) áreas florestadas possuem uma condutividade hidráulica saturada do solo entre 130 a 600 mm.h⁻¹, áreas com grama variam entre 9,5 a 390 mm.h⁻¹

Penner et al. (2019) encontraram uma condutividade hidráulica média de 7,21.10⁻⁵ cm/s (2,59 mm.h⁻¹) em solo arenoso. Em relação aos diferentes fragmentos um experimento indicou que áreas tratadas com arado de disco, plantio direto, grade com subsolador e área de Cerrado nativa apresentaram respectivamente 12,3 mm.h⁻¹ 14,2 mm.h⁻¹ 20,1 mm.h⁻¹ e 24,4 mm.h⁻¹ (Ngolo et al. 2017).

Em Latossolo, Gonçalves et al. (2013) determinaram o Ksat pelo método do perfil instantâneo e obtiveram valores na ordem de 2,0E-4 cm.s⁻¹ (7,2 mm.h⁻¹). Já na Bacia do

Rio Paraná, no município de Ilha solteira, (Costa et al. 2015) obtiveram ainda condutividade hidráulica de $16,9 \text{ mm.h}^{-1}$ em área de cultivo de mangueira, de $23,9$ a 184 mm.h^{-1} em área de pastagem, $44,7 \text{ mm.h}^{-1}$ em cultura anual e $21,1 \text{ mm.h}^{-1}$ em área com vegetação degradada.

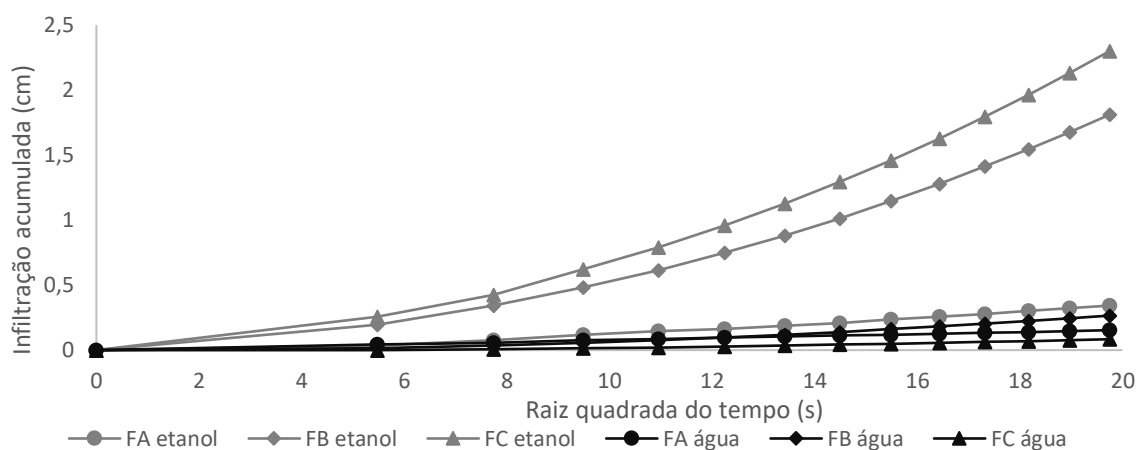
3.4 Repelência de água no solo (R)

Um dos fatores que influencia a repelência de água no solo é o nível de matéria orgânica no solo. Os solos arenosos têm uma área superficial baixa, que pode ser mais facilmente revestida com materiais orgânicos do que as partículas minerais podem ser facilmente revestidas por ácidos fúlvicos (Miller e Wilkinson, 1977). Alguns estudos (Iovino et al., 2018, Lichner et al., 2007, Mao et al., 2016) estão descobrindo influências e previsões sobre o efeito da não-infiltração em alguns solos com área disponível para receber água, normalmente em solos arenosos e áreas secas, esse evento é conhecido como repelência à água no solo.

Analisando os dados do experimento de repelência de água do solo, é possível notar a diferença entre os dados obtidos através do etanol e os dados através da água. Os dados do etanol apresentaram em todos os casos infiltração maior do que no caso com água, pois ele se infiltra facilmente nos solos hidrofóbicos devido ao ângulo de contato zero entre as fases sólida e líquida, de modo que sua sorvidade fornece uma medida de transporte de líquidos no solo que não é influenciada pela repelência à água e é representativa de a estrutura dos poros (Orfánus et al. 2014).

Esta diferença fica evidente na Figura 9, onde nota-se que a amplitude entre os dados de etanol e de água aumenta conforme os estágios mais novos de regeneração ($FA < FB < FC$), sendo a maior amplitude em FC e a menor em FA. Isso nos mostra que o solo menos hidrofóbico é FA, pois suas curvas de infiltração de água e etanol são próximas.

Figura 9: Comparação entre a infiltração de água e etanol para os fragmentos A, B e C.



Fonte: O Autor, 2020

A Tabela 5 apresenta os resultados da repelência de água no solo em todos fragmentos em segundos. Nota-se que no segundo intervalo de tempo (60s) já foi possível observar o resultado de repelência em todos fragmentos verificando a diferença entre eles (FA – 2,64, FB – 19,11, FC – 118,95). Ao passar do tempo, a repelência de FA aumenta enquanto que a de FB e FC reduz, entretanto, ainda assim na repelência final (390s) a diferença entre os fragmentos permanece alta (FA – 4,78, FB – 13,29, FC – 53,46)

Tabela 5: Repelência média de água no solo nos fragmentos A (FA), B (FB) e C (FC).

Tempo (s)	FA	FB	FC
0			
30	1,85	27,30	
60	2,64	19,11	118,95
90	2,99	16,82	86,78
120	3,40	15,60	73,45
150	3,19	14,90	66,79
180	3,50	14,45	62,79
210	3,65	14,14	60,13
240	3,89	13,90	58,22
270	4,00	13,73	56,79
300	4,10	13,58	55,68
330	4,19	13,47	54,80
360	4,27	13,37	54,07
390	4,79	13,29	53,46

Fonte: O Autor, 2020

Estaticamente, apenas o FA apresentou distribuição normal na análise de repelência, apresentando, assim, diferença significativa entre as medianas dos fragmentos ($p\text{-valor} < 0,05$) pelo teste não paramétrico de Kruskal Wallis.

Ao analisar os dados de repelência do solo de acordo com as classificações de Iovino et al. (2018) observa-se que FA ($R=4,79$) possui um solo com leve repelência de água, FB ($R=13,29$) um solo com forte repelência de água e FC ($R=53,46$) um solo com severa repelência de água, sendo esta portanto uma característica do solo que é melhorada através da regeneração natural, favorecendo a molhabilidade e portanto a infiltração de água no solo.

Tabela 6: nível de repelência no solo.

R	Nível de repelência no solo
$R < 1,95$	Sem repelência do solo ou molhável
$1,95 \leq R < 10$	Solo com leve repelência de água
$10 \leq R < 50$	Solo com forte repelência de água
$50 \leq R < 110$	Solo com severa repelência de água
$110 \leq R$	Solo com extrema repelência de água

Fonte: Iovino et al. (2018).

Comparando ainda os resultados com dados de literatura, Schacht e Marschner, (2010) encontraram níveis de repelência entre 0,76 a 19,26 em solos arenosos em Israel dependendo de tratamentos superficiais do solo, sendo os de valores mais baixos em uma superfície controlada e os valores mais altos com tratamentos utilizando fogo.

Alagna et al. (2017) comentam ainda que em seu trabalho, as áreas com maiores índices de repelência do solo foram as que estavam com altas taxas de matéria orgânica seca, situação ainda semelhante a do presente trabalho uma vez que o fragmento C contém em sua grande maioria uma cobertura composta de gramínea seca, enquanto que os ambientes de FA e FB ainda que possuam matéria orgânica são mais susceptíveis a umidade devido um ambiente mais fechado com a presença de bosque e sub-bosque.

3.5 Correlação entre as variáveis hídricas do solo com a precipitação efetiva

A seguir são apresentadas as correlações entre as variáveis hidrológicas do solo.

Tabela 7: Correlação de Spearman entre a precipitação efetiva (PE), velocidade básica de infiltração (VBI) e Condutividade hidráulica do solo (K) para o fragmento A (FA), fragmento B (FB) e fragmento C (FC).

FA	PE	VBI	K	FB	PE	VBI	K	FC	PE	VBI	K
PE	1	-	-	PE	1	-	-	PE	1	-	-
VIB	0,799	1	-	VIB	0,329	1	-	VIB	0,445	1	-
K	0,863	0,975	1	K	0,359	0,989	1	K	0,367	0,944	1

Fonte: O Autor, 2020

O único fragmento que apresenta uma correlação de spearman significativa a 95% de confiança entre as propriedades hídricas do solo e a precipitação efetiva é o fragmento A (FA) (Tabela 7), o fragmento a mais tempo em regeneração (46 anos), entretanto nota-se que em todos fragmentos a correlação foi positiva, ou seja, quanto maior a precipitação, maior será a velocidade básica de infiltração (VBI) e a condutividade hidráulica do solo (K).

Diversos fatores como intensidade e duração da precipitação, umidade antecedente do solo, textura do solo, cobertura vegetal e uso da terra influenciam a capacidade de infiltração de água no solo (Sales e Targa, 2017). Entretanto a duração da chuva é o fator mais importante, seguido de cobertura vegetal, tipo de vegetação, intensidade de precipitação pluvial e umidade do solo (Wang et al. 2012).

De acordo com Pereira et al. (2019) e Minosso et al. (2017), a Velocidade Básica de Infiltração (VBI) varia em função das condições climáticas e da umidade do solo antecedente ao período de coleta de dados.

Depois de um evento de precipitação intensa, pode ocorrer a redução da condutividade hidráulica do solo (K) (Liu e Chen, 2015, Alagna et al. 2016). Em seu estudo em solo arenoso inicialmente seco, Somaratne e Smettem (1993) simularam chuvas intensas obtendo uma redução da condutividade hidráulica, enquanto que a sorvidade permaneceu inalterada. A condutividade hidráulica do solo antes de eventos de precipitação varia de acordo com a umidade do solo, entretanto após uma precipitação intensa ele tende a decair independente da umidade do solo (Alagna et al. 2016).]

Neste experimento entretanto, a correlação entre a condutividade hidráulica do solo (K) e a precipitação efetiva foi positiva, aponando que conforme aumenta a precipitação- nesta área, aumenta a condutividade hidráulica do solo. Entretanto devemos considerar outros fatores como o teor de umidade do solo a repelência de água que nesta área foi consideravelmente alta.

O teor de água no solo afeta a infiltração, comparando o tempo de movimento da frente úmida em diferentes umidade do solo, observa-se que a velocidade de infiltração é maior em solos mais úmidos (Cheng et al. 2018).

A repelência de água no solo altera a redistribuição da precipitação favorecendo o escoamento e a evaporação, e assim reduzindo a infiltração de água, consequentemente o armazenamento de água no solo levando ao estresse hídrico da vegetação, além disso, solos particularmente arenosos são suscetíveis à repelência de água no solo após períodos de secas prolongadas e temperaturas elevadas (Órfanus et al. 2014).

4. CONCLUSÃO

O avanço da regeneração natural promoveu uma maior velocidade de infiltração básica, a regeneração mais avançada apresentou as maiores velocidades de infiltração inicial, possivelmente por ser uma floresta mais desenvolvida com um solo mais protegido por vegetação, entretanto o valor médio entre os fragmentos de 46 e 13 anos de regeneração foram muito próximos. Apesar disso, a condutividade hidráulica não diferiu entre os tratamentos. O avanço da regeneração natural mostrou ainda menor repelência devido, principalmente, à camada de matéria orgânica na superfície do solo, onde, em função do microclima criado pelo maior recobrimento dele pelas árvores torna a serapilheira mais úmida quando comparado ao estágio inicial de regeneração. O único fragmento que apresentou correlação significativa entre as propriedades hídricas do solo e a precipitação efetiva foi o mais antigo (46 de regeneração), sendo que ainda assim, todos demonstraram uma correlação positiva, quanto maior a precipitação efetiva, maior a condutiva hidráulica e velocidade de infiltração.

Assim, o avanço da regeneração da floresta promove condições favoráveis a infiltração de água no solo através dos maiores índices de velocidade de infiltração inicial e menor repelência do solo, ambos favorecendo a percolação de água no solo e indiretamente a recarga de águas subterrâneas.

REFERÊNCIAS

- Alagna, V., Bagarello, V., Di Prima, S., Giordano, G., Iovino, M. (2016). Testing infiltration run effects on the estimated water transmission properties of a sandy-loam soil. *Geoderma*, 267, 24-33.
- Alagna, V., Lovino, M., Bagarello, V., Mataix-Solera, J., Lichner, L. (2017). Application of minidisk infiltrometer to estimate water repellency in Mediterranean pine forest soils. *J. Hydrol. Hydromec.*, 254-263.
- Araújo Filho, J. C., Ribeiro, M. R. (1996). Infiltração de água em Cambissolos de Baixio do Irecê (BA). *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 20, 263-370.

- Belnap, J., Prasse, R., Harper, K. T. (2003). Influence of biological soil crusts on soil environments and vascular plants. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management.*, 281-300.
- Bernardo, S., Soares, A. A., Mantovani, E. C. (2006). *Manual de irrigação*. Viçosa: UFV.
- Bessi, D., Tanaka, M. O., Costa, L. A., Correa, C. P., Tonello, K. C. (2018). Restauração Florestal e os efeitos dos parâmetros hidrológicos nas condições hídricas do solo: Uma abordagem usando modelos de equações estruturais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 2318-0331.
- Bruce, R. R., Klute, A. (1956). The measurement of soil moisture diffusivity. *Soil Science*, 458-462.
- Cheng, Y., Zhan, H., Yang, W., Bao, F. (2018). Deep soil water recharge response to precipitation in Mu Us Sandy Land of China. *Water Science and Engineering*, 11, 139-146.
- Chowdary, V. M., Rao, M. D., Jaiswa, C. S. (2006). Study of infiltration process under different experimental conditions. *Agricultural Water Management*, 69-78.
- Costa, C. d., Alves, M. C., Souza, A. d. (2015). Movimento de água e porosidade dos solos de uma sub-bacia hidrográfica no noroeste do estado de São Paulo. *Irriga*, 304-318.
- Cunha, J. X., Albuquerque, A. W., Silva, C. A., Araújo, E., Santos Junior, R. B. (2009). Velocidade de infiltração em um Latossolo Amarelo submetido ao sistema de manejo plantio direto. *Revista Caatinga*, 199-205.
- DeBano, L. F. (1981). Water Repellent Soils: A State-of-the-art. *Pacific Southwest Forest and Range Experiment Station, Berkeley.*, p. 25.
- Decagon Devices INC. (2018). Mini Disk Infiltrometer manual.
- Doerr, S. H., Shakesby, R. A., Walsh, R. P. (2000). Soil water repellency: its causes characteristics and hydro-geomorphological significance. *Earth Science*, 33-65.
- Eldridge, D. J. (2003). Biological soil crusts and water relations in Australian deserts. *Biological soil crusts: Structure, Function, and Management.*, 315-325.

- Fařsko, P., Lapin, M., Pecho, J. (2008). 20-year extraordinary climatic period. *Meteorologick ý řcasopis*, 99-105.
- Farkas, C., Birka's, M., Varallyay, G. (2009). Soil tillage systems to reduce the harmful effect of extreme weather and hydrological situations. *Biologia*, 624-628.
- Fatehnia, M. (2015). Automated method for determining infiltration rate in soils.
- Fatehnia, M., Tawfiq, K., Abichou, T. (2014). Comparison of the methods of hydraulic conductivity estimation from mini disk infiltrometer. *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, 1047-1063.
- FSC Brasil. (2014). *Avaliação de plantações florestais na República Federativa do Brasil: Padrão Harmonizado entre as Certificadoras*. FSC, São Paulo.
- Gardner, W. R. (1958). Some steady-state solutions of the unsaturated moistureflow equation with application to evaporation from a water table. *Soil Science*, 228-232.
- Gonçalves, A. D., Libardi, P. L., Bras, R. (2013). Análise da determinação da condutividade hidráulica do solo pelo método do perfil instantâneo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 1174-1184.
- Hardy, J. T. (2003). *Climate Change. Causes, Effects, and Solutions*. Chichester.
- Hillel, D., Baker, R. S. (1988). A descriptive theory of fingering during infiltration into layered soils. *Soil Science*, 51-56.
- Imeson, A. C., Verstraten, J. M., Van Mulligen, E. J., Sevink, J. (1992). The effects of fire and water repellency on infiltration and runoff under Mediterranean type forests. *Catena*, 19, 345-361.
- International Paper. (2017). *Resumo Publico - Plano de Manejo*.
- Iovino, M., Pekárová, P., Hallett, P.D., Pekár, J. Lichner, L. Mataix-Solera, J. Alagna, V., Walsh, R., Raffan, A., Shacht, K., Rodny, M. (2018). Extent and persistence of soil water repellency induced by pines in different geographic regions. *J. Hydrol. Hidromech.*, 66, 360-368

- IPCC. (2001). *The scientific basis*. In: Houghton, J.T., Ding, Y., Griggs, D.J., Noguer, M., van der Linden, P.J., Dai, X., Maskell, K., Johnson, C.A. (Eds.), *Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom/NY, USA: Cambridge University Press.
- Lichner, L., Hallet, P. D., Feeney, D., D'ugova, O., Sir, M., Tesar, M. (2007). Field measurement of soil water repellency and its impact on water flow under different vegetation. *Biologia*, 62, 537–541.
- Lichner, L., Hallett, P. D., Orfánus, T., Czachor, H., Rajkai, K., Šír, M., Tesař, M. (2010). Vegetation impact on the hydrology of an aeolian sandy soil in a continental climate. *Ecohydrology*, 413–420.
- Liu, L., Chen, J. (2015). The effect of conservation practices in sloped croplands on soil hydraulic properties and root-zone moisture dynamics. *Hydrol. Process*, 29, 2079–2088.
- Magalhães, I. B. (2020). *Velocidade de Infiltração e Propriedades Físicas do solo em diferentes sistemas do uso da terra no bioma Cerrado*. Morrinhos-GO: SIBI/IF.
- Mao, J., Nierop, K. G. J., Rietkerk, M., Damsté, J. S. S., Dekker, S. C. (2016). The influence of vegetation on soil water repellency-markers and soil hydrophobicity. *Science of the Total Environment*. 608-620
- Miller, R., Wilkinson, J. (1977). Nature of the organic coating on sand grains of nonwetable golf greens. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 41, 1203–1204.
- Minosso, J., Antoneli, V., Freitas, A. R. d. (2017). Variabilidade sazonal da infiltração de água no solo em diferentes tipos de uso na região sudeste do Paraná. *Geographia Meridionalis*, 1, 86-103.
- Moody, J. A., Kinner, D. A., U'beda, X. (2009). Linking hydraulic properties of fireaffected soils to infiltration and water repellency. *J. Hydrol*, 291–303.
- Moore, D., Kostka, S. J., Boerth, T. J., Franklin, M., Ritsema, C. J., Dekker, L. W. Wesseling, J. (2010). The effect of soil surfactants on soil hydrological behavior,

- the plant growth environment, irrigation efficiency and water conservation. *J. Hydrol. Hydromech.* 58, 142-148.
- Neto, R. A. (1999). *Roteiro de aulas práticas de morfologia do solo* (3^o ed.). Rio de Janeiro: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.
- Ngolo, A. O., Fernandes, R. A., Oliveira, M. F., Rocha, G. C., Assis, I. R. (2017). Efeito de mais de duas décadas de cultivo sobre a condutividade. *IV Simpósio Mineiro de Ciência do Solo*, 221-223.
- Onderka, M., Pekárová, P. (2008). Retrieval of suspended particulate matter concentrations in the Danube River from Landsat ETM data. *Science of the Total Environment*, 238-243.
- Orfánus, T., Dlapa, P., Fodor, N., Rajkai, K., Sándor, R., Nováková, K. (2014). How severe and subcritical water repellency determines the seasonal infiltration in natural and cultivated sandy soils. *Soil & Tillage Research*, 49-59.
- Paixão, F. J., Andrade, A. R., Azevedo, C. A., Silva, J. M., Costa, T. L., Feitosa, R. M. (2004). Estimativa da infiltração da água no solo através de modelos empíricos e funções não lineares. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, 1-12.
- Parlange, J. Y. (1972). Theory of water movement in soils: 8. One-dimensional infiltration with constant flux at the surface. *soil Science*, 1-4.
- Penner, G. C., Casanova, E. d., Gonçalves, M. M., Martins, R. T., Cavalcante, I. C. (2019). Avaliação da condutividade hidráulica na zona não saturada do solo na bacia hidrográfica do Igarapé Sapucajuba (Belém-PA). *Brazilian Journal of Development*, 8938-8953.
- Pereira, D. C., Carneiro, M. M., Gryczak, L., Pinto, M. C. (2019). Estimativa da velocidade de infiltração básica em solos sob regeneração nativa. *Terra Plural*, 124-137.
- Philip, J. (1957). The theory of infiltration: 3. Moisture profiles and relation to experiment. *Soil Science*, 163-178.
- Philip, J. R. (1957). Theory of infiltration. In: Chow, V.T. (Ed.), *Advances in Hydroscience*. *Academic Press*, 215–296.

- Pirastu, M., Castellini, M., Giadrossich, F., Niedda, M. (2013). Comparing the hydraulic properties of forested and grassed soils on an experimental hillslope in a Mediterranean environment. *Procedia Environmental Sciences*, 341-350.
- Reichardt, K. (1987). *A água em sistemas agrícolas*. São Paulo: Manole.
- Sales, P., Targa, M. (2017). Infiltração de água em diferentes usos e ocupação dos solos na bacia do rio Uma em Taubaté, SP. *Repositório de Ciências Ambientais*, 1, -13.
- Schacht, K., Marschner, B. (2010). Effects of effluent irrigation on hydraulic conductivity and soil water repellency of soils in Israel - Results of a Mini Disk Infiltrometer measuring campaign. *GLOWA - Geographisches Institut*.
- Shakesby, R. A., Coelho, C. O., Ferreira, A. D., Terry, J. P., Walsh, R. P. (1993). Wildfire impacts on soil erosion and hydrology in wet Mediterranean forest, Portugal. *Int. J. Wildland Fire*, 3, 95-110.
- Sihag, P., Tiwari, N. K., Ranjar, S. (2017). Estimation and inter-comparison of infiltration models.
- Silveira, B. S., Melo, R. P., Cruz, C. C., Gonçalves, S. M., Melo, G. A., Chaves, H. H., Fabian, A. J. (Setembro de 2018). Velocidade de infiltração básica em áreas com diferentes usos. *Sepit - Seminário de Pesquisa e Inovação Tecnológica*, 2.
- Smith, R. E. (2002). Infiltration theory for hydrologic applications. In: Smettem, K.R.J.,
- Somaratne, N. M., Smettem, K. R. J. (1993). Effect of cultivation and raindrop impact on the surface properties of an Alfisol under wheat. *Soil Tillage Research*, 26, 115-125.
- Su, L., Wang, J., Qin, X., Wang, Q. (2017). Approximate solution of a one-dimensional soil water infiltration equation based on the Brooks-Corey model. *Geoderma*, 28-37.
- Tillman, R.W., Scotter, D.R., Wallis, M.G., Clothier, B.E. (1989). Water-repellency and its measurement by using intrinsic sorptivity. *Aust. J. Soil Res.*, 27, 4, 637-644.
- Wang, J., Wu, P., Zhao, X. (2012). Soil Infiltration Based on Bp Neural Network and grey relational analysis. *Revista Bras. Ci. Solo*, 37, 97-105.

- Warren, S. D. (2003). Biological soil crusts and hydrology in North American deserts. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management.*, 327-337.
- Yair, A. (2003). Effects of biological soil crusts on water redistribution in the Negev desert, Israel: a case study in longitudinal dunes. *Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management.*, 303-314.
- Zhang, L., Wu, P., Fan, X. (2010). Numerical simulation of soil water movement with dripirrigation of multiple point source. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.*, 40-45.
- Zhang, R. (1997). Determination of soil sorptivity and hydraulic conductivity from the disk infiltrometer. *Soil Science Soc. Am.*, 1024-1030.

CAPITULO V - VARIÁVEIS AMBIENTAIS E A DISTRIBUIÇÃO DAS ESPÉCIES DE UM FRAGMENTO EM REGENERAÇÃO NATURAL NO CERRADO PAULISTA.

RESUMO

Estudos ecológicos demonstram que há uma relação direta entre fatores biótico e abióticos de fragmentos de mata nativa, de forma que as variáveis ambientais, como precipitação e umidade do solo exercem influência sobre o desenvolvimento e permanência de padrões de espécies florestais, permitindo desta forma analisar quais fatores ambientais precisam de maior atenção no manejo em cada situação de áreas em restauração. O presente trabalho objetivou explicar a ordenação de espécies florestais de áreas em regeneração do Cerrado através das variáveis ambientais, utilizando a análise de dados multivariada, permitindo aferir quais variáveis ambientais exercem influência sob a ordenação das espécies arbóreas por meio da Análise de Correspondência (CA). Estabelecida essa relação, observou-se que as variáveis Umidade do solo (URS) e Capacidade de Retenção Hídrica da Serapilheira (CRH) foram as de maior influência para a ordenação das espécies, sendo que o estudo concluiu que o tratamento B, com estágio inicial a intermediário de regeneração são ordenadas sob grande influência dos dados de Densidade do solo (DA) e de Resistência a Penetração (RMP), influenciando a abundância da espécie *Virola sebifera*, enquanto que as áreas de estágio mais avançado de regeneração são explicadas com relações positivas pela URS e CRH, com menor relação com DA e RMP, características de influência para a espécie *Croton floribundus*.

Palavras-chave: Ordenação de espécies florestais; dados multivariados; relações ecológicas.

ABSTRACT

Ecological studies demonstrating that there is a direct relationship between biotic and abiotic factors of fragments of native forest, so that environmental parameters, such as pollution and physical exercise of influence on the development and permanence of forest species patterns, follow the way to examine which are environmental factors need more attention in the management in each situation of areas under restoration. The present work aims to explain the ordering of forest species in areas of regeneration of the Cerrado by means of environmental variables, the use of multivariate data analysis, to assess the variables that influence the ordering of tree species performed by correspondence analysis (CA). Established this relationship, allowing the variation of a soil (URS) and litter water retention capacity (CRH), the greatest influence for species ordering, and the study is of treatment B, with an initial stage of regeneration being ordered under great influence of data of soil density (DA) and resistance to penetration (RMP), influencing a number of species of *Virola sebifera*, while the areas of more advanced stage of regeneration are explained with positive relationships by URS and CRH, less related to DA and RMP, influencing characteristics for a *Croton floribundus*.

Keywords: Ordering of forest species; multivariate data; ecological relations.

1. INTRODUÇÃO

Atividades sócio-econômicas na vizinhança de áreas florestais e o uso da terra em si, são fatores responsáveis pelas pressões em fragmentos florestais, através de intervenções que depreciam a estabilidade ecológica do fragmento, com a redução da diversidade (Oliveira, 1997).

A flora potencial de um local, caracterizada desde o estabelecimento, permanência e dinâmica de táxons, até o ritmo de crescimento biológicos, reprodução e crescimento de plantas do bioma são influenciados pelos fatores físicos deste ambiente (Machado e Lopes, 2002).

Deste modo, pode-se dizer que qualquer produção de monocultura em uma área extensa tende a ter perda de diversidade na região, mas não representa necessariamente perdas ambientais, inclusive há fatores ambientais positivamente impactados.

Dentre esses fatores ambientais destacamos desde o clima local, temperaturas, precipitação, luminosidade até a composição de matéria orgânica, umidade do solo, capacidade de infiltração de água no solo entre outras. Assim, essas variáveis ambientais, como por exemplo o solo, podem proporcionar condições que favorecem ou limitam o crescimento da comunidade (Ruggiero, 2000).

Segundo Santos et al. (2004) comunidades são unidades ecológicas muito complexas, as quais estudamos com variáveis abióticas e bióticas, ligadas por uma rede de inter-relações regendo o funcionamento dos ecossistemas.

A fim de compreender a complexidade de sistemas biológicos, tem ocorrido estudos das comunidades com enfoque descritivo e comparativo, os quais podem ainda permitir o reconhecimento de padrões (Begon et al. 1996). Um método muito utilizado para reconhecer esses padrões e relações entre dados bióticos e abióticos é a ordenação, definida por Ferreira (2014) como arranjo de unidades de acordo um determinado critério, por exemplo através da ordenação pode-se verificar como determinada espécie se organiza no local de acordo com alguma variável ambiental (umidade do solo, nível de nitrogênio, altitude, etc).

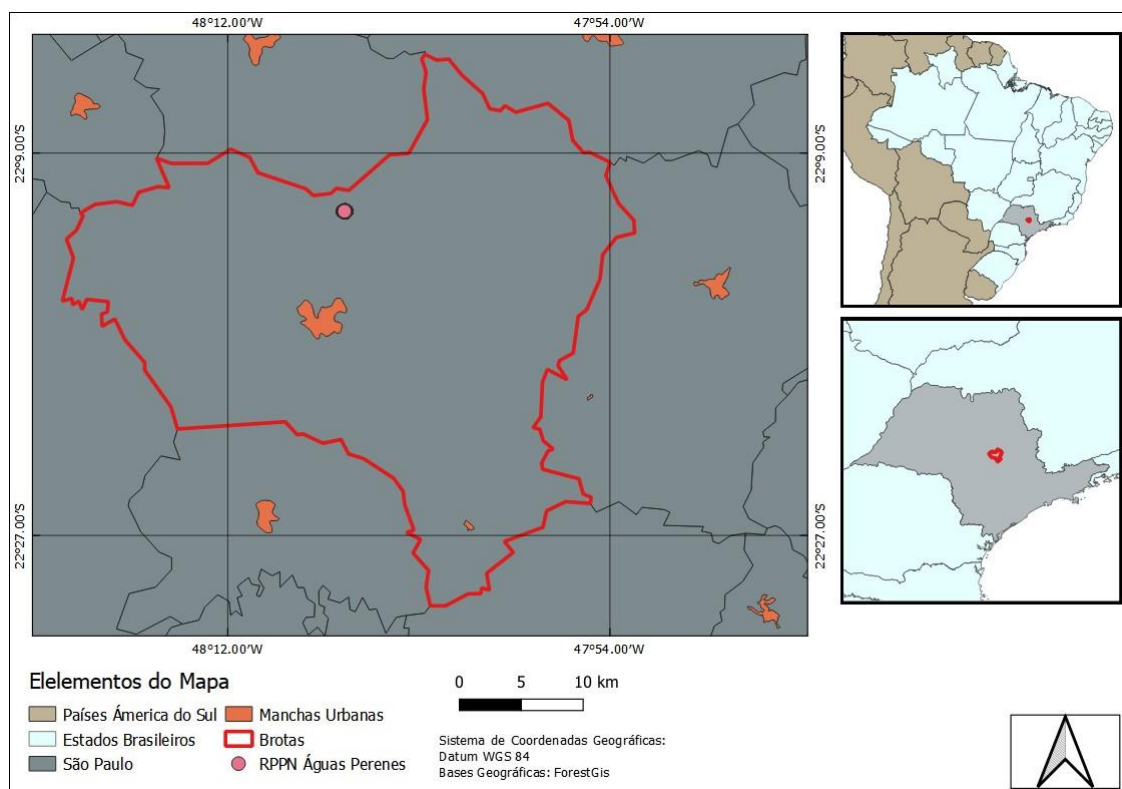
O objetivo deste trabalho foi identificar as variáveis ambientais que influenciam na distribuição das espécies do Cerrado em regeneração.

2. MATERIAL E MEDOTOLOGIA

2.1 Área de estudo

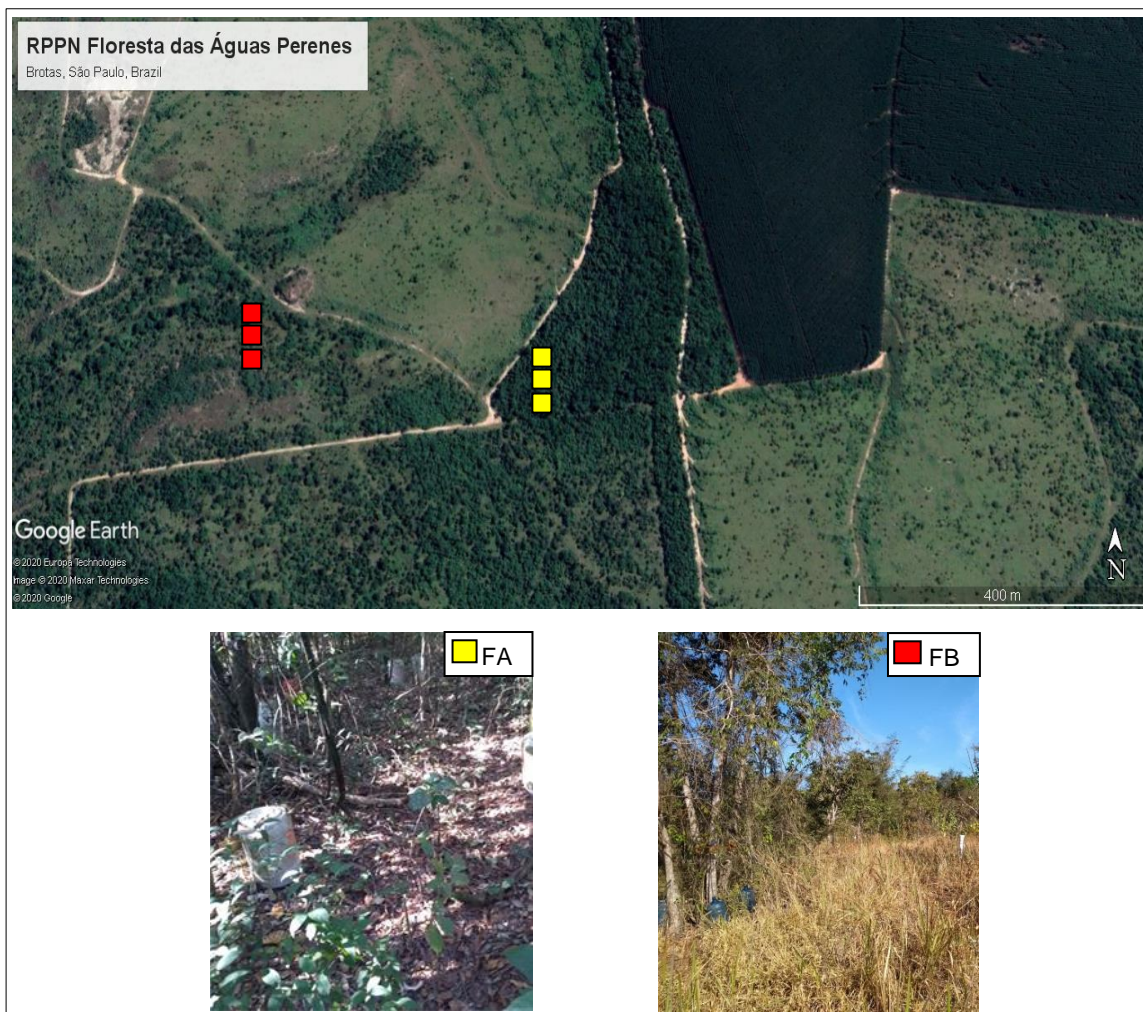
A área de estudo é uma Reserva Particular de Patrimônio Natural – RPPN Águas Perenes, pertencente à Empresa International Paper a qual possui plantios de *Eucalyptus sp.* Localizada no município de Brotas (Figura 1), interior do estado de São Paulo, a reserva está inserida no bioma Cerrado. A RPPN, de 809,78 hectares, esta situada na bacia hidrográfica Lagoa Seca, composta por áreas de regeneração natural ocorrida após o corte raso de *Eucalyptus sp* os quais eram cultivados pela empresa nessa área. O estudo está localizado em dois fragmentos de regeneração, (Figura 2). O fragmento A (FA) que está em regeneração à 46 anos e o fragmento B (FB) que está à 11 anos, em cada fargmento foram instaladas 3 parcelas de 20m x 20m totalizando 400m² cada, separadas por 10 metros lineares entre si.

Figura 1: Localização do município de Brotas – SP.



Fonte: O autor, 2020.

Figura 2. Localização das parcelas e dos fragmentos a (FA) e b (FB), RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas, SP.



Fonte: O Autor, 2020.

O clima local segundo a classificação de Köppen é Cwa, representado por temperatura máxima anual de 29,6°C e mínima anual de 10,6°C, média anual de 21,4°C e precipitação acumulada anual de 1209,7mm, área situada na geomorfologia das Cuestas Basálticas (CEPAGRI, 2018). O solo da área foi classificado como Neossolo Quartzarênico (Almeida et al. 2009), portanto um solo com característica arenoso e com no máximo 15% de argila em sua composição.

2.2 Espécies arbóreas

O levantamento florístico desta área foi realizado por um profissional da área, funcionário da empresa proprietária, o qual identificou todas as árvores de cada parcela

com DAP (Diâmetro a Altura do Peito) acima de 15 cm. No primeiro fragmento (46 anos) foram identificadas 155 indivíduos, no fragmento B foram identificadas 21 indivíduos de 9 famílias as quais foram distribuídas ao longo das 3 parcelas de cada fragmento.

Para a análise de ordenação, os dados das espécies foram distribuídos segundo os locais, a fim de identificar gradientes dessas espécies ao longo das parcelas e seus tratamentos, foi utilizado o método de Análise de Correspondência (Ter Braak, 1995, Ter Braak, 1987) qual consiste em detectar padrões de variação da composição de comunidades através da ordenação das espécies segundo os locais, utilizando as distâncias qui-quadradas, explicadas através de variáveis ambientais (Ter Braak, 1986). O resultado desta ordenação é o arranjo das amostras em um espaço com menos dimensões (eixos) a fim de representar entidades similares próximas umas das outras e as dissimilares afastadas (Gauch, 1982).

2.3 Variáveis ambientais

Fazendo uso do *envfit* no pacote Vegan no software R, foi estabelecido quais variáveis ambientais possuem maior, ou significativa influência na ordenação das espécies arbóreas. Além de ser possível visualizar através dos vetores das variáveis ambientais mais influentes a correlação com os eixos de ordenação das espécies, verificando a associação de cada grupo de espécies com cada variável ambiental e com os locais.

Após a passagem dos dados de abundância das espécies florestais e dos dados ambientais de Excel para o formato txt, foi possível utilizá-los no software R com o pacote vegan para a realização de análise de dados multivariados.

Para o início da análise foi utilizada a função *cca* do pacote vegan, a qual é utilizada para a Análise de Correspondência (CA) alocando as espécies florestais ao longo dos sítios, parcelas (A1, A2, A3, B1, B2, B3).

Inferindo qual variável ambiental pode contribuir para o desenvolvimento de algumas espécies do Cerrado a fim de ser fonte de instrução para o desenvolvimento de áreas de restauração florestal neste bioma.

Com a organização e ordenação das espécies arbóreas, baseada em suas posições em coordenadas principais eixos é possível investigar os fatores responsáveis pelos padrões observados (Ludwig e Reynolds, 1988), ou seja, podemos analisar fatores subjacentes, neste caso ambientais, que contribuem para essa ordenação das espécies arbóreas nessas parcelas.

Assim sendo, de maio de 2018 a abril de 2019, as variáveis ambientais coletadas foram: Precipitação interna (PI), Precipitação Efetiva (PE), Umidade Relativa do Solo da floresta (URS), Condutividade hidráulica no solo (K), a Capacidade de Retenção Hídrica da serapilheira (CRH), a Velocidade de Infiltração Básica de água no solo (VIB), a Resistência Mecânica a Penetração no solo (RMP) e a Densidade absoluta do Solo (DS).

Para a obtenção dos dados referentes à precipitação (P) e a precipitação interna (PI), foram instalados pluviômetros de PVC, sendo um externo e 10 pluviômetros internos em cada parcela. Deste modo, trabalhou-se com a média mensal e anual das amostras.

A PE foi calculada pela soma de PI com escoamento pelo tronco (ET), o qual foi obtido através de um coletor em cada árvore com DAP acima de 15 cm de todas parcelas, o mesmo foi composto de uma espuma expansiva envolta por papelão e fita presos ao tronco das árvores formando um funil que chega a uma mangueira acoplada a um galão de reservatório de 20 litros.

A URS, DS e foram obtidos mensalmente através de 3 repetições por parcela. As coletas de solo foram através de anéis de 100cm², por meio do qual foi obtido o peso úmido e seco em estufa a 105°C por 24 horas. Estes dados também foram obtidos através da média das repetições (três repetições mensais) e média mensal.

A CRH da serapilheira foi obtida coletando a serapilheira através um quadrante de 50 cm por 50 cm, totalizando 0,25m², no qual criou-se uma repartição que o dividia em 4 partes iguais. A coleta foi realizada de forma aleatória com amostras independentes, utilizando apenas um quarto do quadrante para coletar o material, resultando em uma amostra composta por 10 coletas em cada parcela, portanto 3 amostras por fragmento mensal.

Os dados de Resistência Mecânica a Penetração do solo foram coletados através do equipamento PenetroLOG da Falker, o qual fornece dados de força para penetração do solo até 60 cm, esses dados foram separados em 6 classes de profundidade, elas são: 1-10cm; 11-20cm; 21-30cm; 31-40cm; 41-50cm; 51-60cm.

As amostras de infiltração, para cálculo da VIB e de K, foram coletadas mensalmente utilizando o infiltrômetro de sucção Mini Disk da Meter Group, foram coletadas 3 repetições de amostras de cada parcela, portanto 9 amostras mensais independentes e ao acaso de cada fragmento.

O infiltrômetro Mini Disk consiste em um tubo com uma câmara de água superior e uma câmara de água inferior ou uma ligação entre elas com um tubo de sucção, o qual deve ser utilizado com a medida recomendada para cada tipo de solo, neste caso foi

utilizado a taxa de sucção 2, considerando que o solo é arenoso.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi encontrado um total de 186 indivíduos distribuídos em 44 espécies, entretanto, para esse estudo, foram selecionados apenas as espécies com ocorrência de no mínimo 5 indivíduos (Tabela 1).

Tabela 1: Abundância das espécies florestais nas parcelas do fragmento A (A1, A2 e A3) e fragmento B (B1, B2 e B3). RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas, SP. 2019.

CÓD.	Nome científico	A1	A2	A3	B1	B2	B3
A.g	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	4	0	1	0	0	0
C.fl	<i>Croton floribundus</i> Spreng.	1	9	2	0	0	0
C.l	<i>Copaifera langsdorffii</i> Desf.	1	2	5	0	0	0
D.b	<i>Diospyros brasiliensis</i> Mart.	1	1	0	0	0	4
E.c	<i>Eugenia candolleana</i> DC.	1	3	1	0	0	0
H.o	<i>Handroanthus ochraceus</i> Cham.	6	4	9	0	0	2
H.s	<i>Handroanthus serratifolius</i> Vahl.	15	4	0	0	0	0
N.c	<i>Nectandra cuspidata</i> Nees.	0	5	1	0	0	0
S.g	<i>Siparuna guianensis</i> Aublet.	0	2	3	0	0	0
S.r	<i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassman	0	5	0	0	0	0
T.gu	<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	0	1	5	0	0	0
V.s	<i>Virola sebifera</i> Aubl.	1	0	1	3	0	0
X.a	<i>Xylopia aromática</i> (Lam.) Mart	7	0	4	0	3	4

Fonte: O Autor, 2020.

Assim, através da matriz apresentada na Tabela 2, objetivou-se justificar a ordenação dos dados das espécies ao longo das parcelas, para tal, foi realizada a análise direta das duas matrizes através da função `envfit` do pacote `vegan` no software R.

Tabela 2: Médias mensais de dados ambientais nas parcelas do fragmento A (A1, A2 e A3) e fragmento B (B1, B2 e B3). RPPN Floresta das Águas Perenes, Brotas, SP.

SÍTIOS	CRH (%)	VIB (mm.h ⁻¹)	K (mm.h ⁻¹)	RMP (Mpa)	PE (mm)	PI (mm)	Da (g.cm ⁻²)	URS (%)
A1	206,39	66,80	25,39	1,02	877,34	874,99	1,35	13,48
A2	241,83	64,05	21,02	0,90	788,57	785,15	1,38	15,56
A3	225,66	103,37	30,11	0,85	1017,89	1014,86	1,40	16,30
B1	192,83	57,11	23,29	1,08	761,90	760,79	1,46	11,88
B2	236,90	47,88	20,55	0,81	857,66	856,05	1,46	13,11
B3	234,50	128,90	55,78	0,91	852,63	850,10	1,49	16,29

Fonte: O Autor, 2020.

Após a aplicação da CA na matriz de espécies foi gerado o sumário para analisar os resultados os quais são apresentados na Tabela 3. Nesta tabela podemos notar que o valor da inércia (1,738) foi satisfatório, representando assim a variabilidade dos dados, através da qual analisou-se a associação entre um conjunto de variáveis quantitativas (espécies e locais). Em seguida, podemos analisar os autovalores os quais demonstram o quanto da variação da inércia é explicada em cada eixo. Por exemplo no eixo 1, temos que 0,6000 de 1,738 da inércia, da variação dos dados é explicado pelo eixo 1 Ou seja, 34,53% ($0,6000 / 1,738 = 0,3458$) é explicado pelo eixo 1, assim como, o eixo 2 explica 27,59%, o eixo 3 explica 17,45% e o eixo 4 explica 14,71%, sendo que estes 4 eixos juntos explicam portanto 94,28% dos dados de abundância das espécies florestais nas parcelas.

Tabela 3: Resultado da análise de Correspondência (CA) das espécies florestais arbóreas.

	Inércia	Proporção
Total	1,738	1
Unconstrained	1,738	1

Inercia = Qui-quadrado escalado

Resumo (CA das espécies)

Autovalor, e respectivas contribuições para a escala Qui-quadrado Importância dos componentes:

	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5
Autovalor	0,6000	0,4794	0,3031	0,2555	0,0999
Proporção explicada	0,3453	0,2759	0,1745	0,1471	0,0572
Proporção cumulativa	0,3453	0,6212	0,7957	0,9427	1,0000

Fonte: O Autor, 2020.

Foi também gerado um gráfico *heat map* de forma a identificar visualmente as espécies mais presentes, portanto mais representadas, em cada área (sítio) (Figura 3), onde a presença das cores mais quentes significa que há mais indivíduos da espécie no eixo y no sítio do eixo x. Em seguida, foi realizada a análise direta da ordenação CA das espécies com a matriz de dados ambientais através da função *envfit()* do pacote *vegan()* no software R.

A função *envfit* foi realizada tendo como primeira matriz, independente, a matriz de ordenação CA das espécies e como segunda matriz, explicativa, a de dados ambientais.

Nota-se na Tabela 4, que a variável ambiental de maior relação com a ordenação das espécies foi URS (Umidade Relativa do Solo) com um $R^2 = 0,7516$ ($p=0,09861$), seguido pela CRH (Capacidade de retenção hídrica da serapilheira) com um $R^2 = 0,5520$ ($p=0,22361$).

Sendo que a variável de maior responsabilidade pela justificativa da ordenação das espécies nos locais é a URS que possui um $Pr < 0,1$, portanto com 90% de confiança.

Figura 3. Gráfico *Heat map* das espécies nos locais.

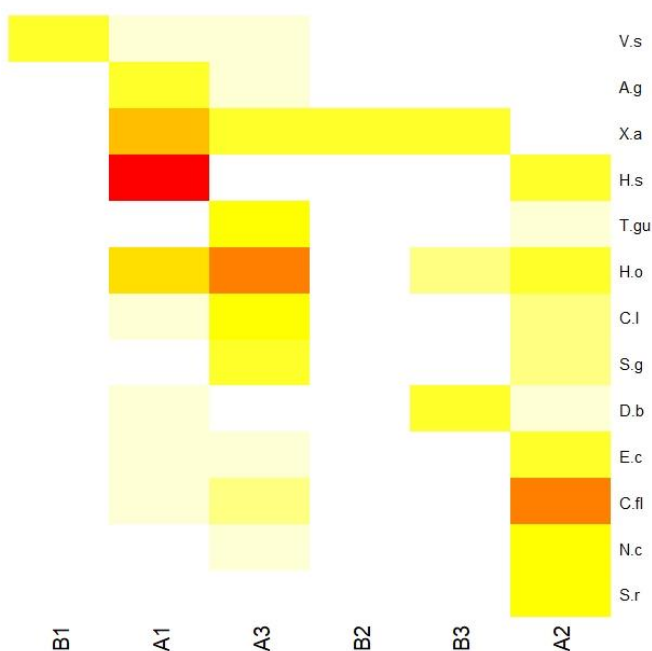


Tabela 4: Resultado da análise direta da explicação da ordenação (cca) das espécies nos locais através da matriz de dados ambientais pela função *envfit*.

Vetores	CA1	CA2	r ²	Pr(>r)
CRH	0,69592	0,71812	0,5520	0,22361
VIB	0,37371	-0,92755	0,0873	0,80139
K	0,06082	-0,99815	0,3377	0,50833
RMP	-0,71674	-0,69734	0,3194	0,46250
PE	0,37291	-0,92787	0,0386	0,89028
PI	0,34797	-0,93751	0,0400	0,89167
DA	-0,71199	-0,70219	0,0781	0,84444
URS	0,71026	0,70394	0,7516	0,09861 *

Nível de significância:

* = 0,01

Permutação livre, n° de permutações: 719

Fonte: O Autor, 2020.

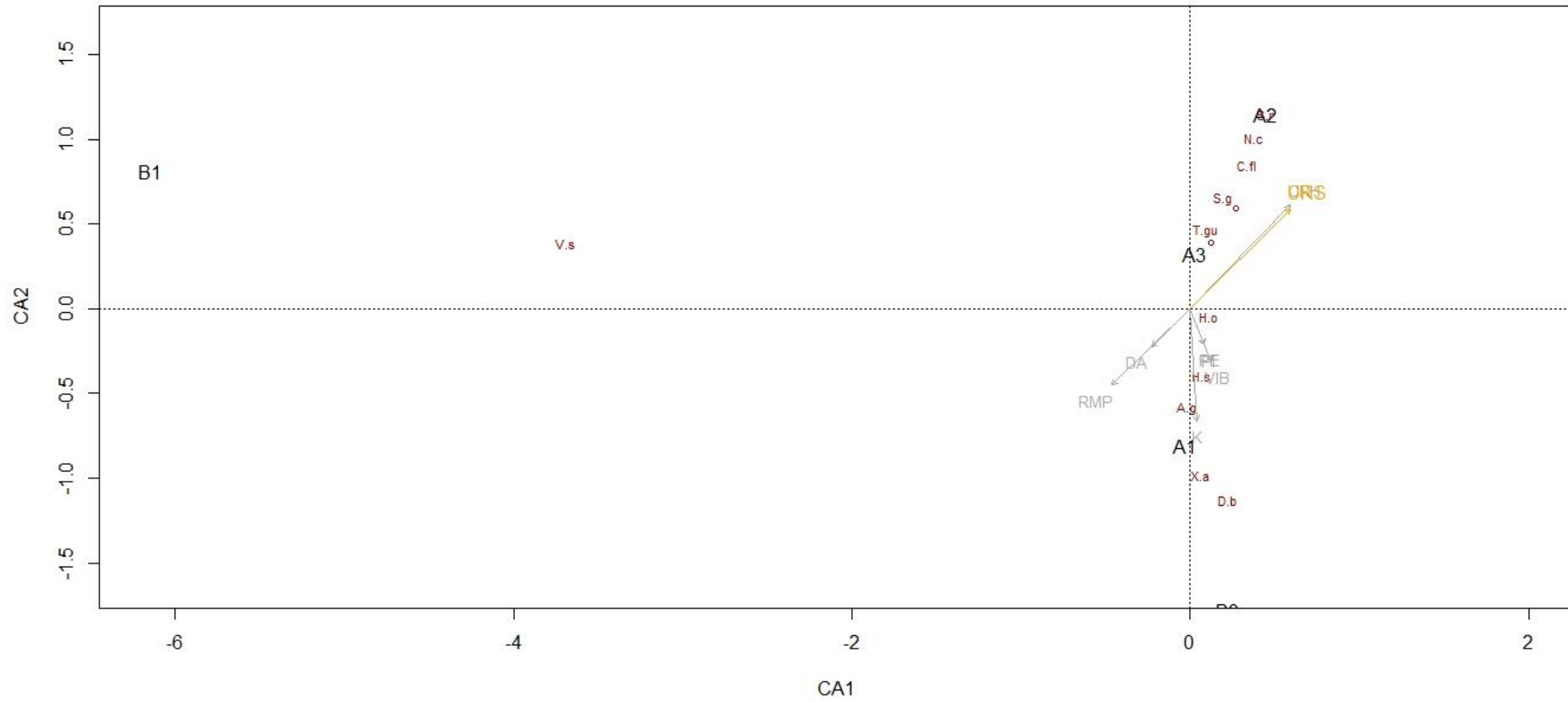
Assim, foi gerado um gráfico de dispersão (Figura 4) nos eixos 1 e 2, das espécies, em vinho ao longo dos locais, em preto (A1, A2, A3, B1, B2, B3) com as flechas de vetor

das variáveis ambientais. Em laranja, a variável URS que obteve maior influência na ordenação das espécies e, em cinza, as variáveis ambientais menos relevantes na CA.

Este tipo de gráfico é importante para explicarmos a influência e o gradiente da influência das variáveis ambientais na distribuição das espécies ao longo dos sítios, como ocorre com o sítio B2, o mesmo, apesar de fazer parte do fragmento B se assemelha mais ao fragmento A em função da ordenação das espécies.

Pode-se inferir que as espécies que estão nos quadrantes a direita (<0) estão relacionadas com valores altos de URS e de CRH. Ao longo do eixo x, conforme as espécies vão se dispondo da direita para a esquerda vão reduzindo a quantia de URS, de forma antagônica ocorre com o DA e RMP, onde as espécies relacionadas com maiores dessas variáveis estão à direita do quadrante, decrescendo da direita para a esquerda no eixo x, como é o exemplo da espécie *Virola sebifera* (V.s) presente fortemente na parcela B1. O sítio B2 apresenta características semelhantes as apresentadas no fragmento A, desempenhando um papel de área de transição entre os fragmentos.

Figura 4: Análise direta da ordenação da matriz de espécies pela matriz de dados ambientais.



Fonte: O Autor, 2020.

Portanto espécies mais à direita, relacionado com o fragmento A, possuem mais URS e CRH, variáveis ambientais essas relacionadas com a umidade da floresta, que proporciona demais serviços ambientais. Em contrapartida do outro lado estão as espécies mais relacionadas com a densidade (DA) e resistência mecânica do solo (RMP), ambas variáveis que se relacionam entre si através do sentido dos vetores e que opostas as CRH e URS.

Júnior et al. (2007) explicou mais de 50% da variação de 28 espécies e cinco variáveis ambientais, Souza, et al. (2017) obtiveram autovalores de 0,37 e 0,17 nos dois primeiros eixos explicando assim 54% até o segundo eixo.

Tratando ainda se influência química do solo na distribuição de espécies florestais, Em uma encosta voltada ao sul do morro, no Parque Estadual Quarta Colônia, Marcuzzo et al. (2013) detectaram correlação de *Sebastiania brasiliensis* com os teores de P, Ca e Mg.

Em uma Floresta Estacional Decidual no sul do Brasil evidenciaram correlação positiva entre a espécie *Inga marginata* com o teor de e correlação negativa com a acidez potencial, observou-se ainda que a espécie *Sorocea bonplandii* pode se estabelecer em solos rasos, geralmente associados a sítios de maior altitude e a maior grau de pedregosidade, sendo que a maior parte das espécies abundantes encontradas, são influenciadas pela altitude, profundidade do solo e espessura de serapilheira (Carregaro et al. 2018).

Alguns estudos relacionaram a distribuição de *Cupania vernalis* com a declividade do terreno (correlação negativa), teores de potássio (K) e de matéria orgânica (Scipioni et al. 2010., Marcuzzo et al. 2013)

A porcentagem cumulativa total do Qui-quadrado da CA das espécies, apresenta valores relativamente baixo (eixo 1= 0,3453, eixo 2= 0,2759) mas ainda um pouco acima de alguns trabalhos, entretanto segundo Ter Braak C. F. (1988) essa porcentagem de variância é comum em trabalhos com vegetação e não interferem na significância das relações espécie-ambiente.

4. CONCLUSÃO

As variáveis ambientais de maior influência na ordenação das espécies florestais ao longo dos eixos foram Umidade do solo (URS) e Capacidade de Retenção Hídrica da Serapilheira (CRH), variáveis relacionadas a regulação hídrica, ambos com maior

interação com o fragmento A, em estágio mais avançado de regeneração.

O fragmento A, além de possuir a maior abundância de espécies, é o único tratamento que possui a uma das espécies mais representadas pela população, *Croton floribundu*, a qual é também a mais relacionada com URS e CRH, variáveis ambientais mais significantes na ordenação das espécies. Em contrapartida, temos no fragmento B a espécie *Virola sebifera*, relacionada com a densidade aparente do solo (DA) e resistência mecânica a penetração do solo (RMP), se mostrando assim uma espécie mais resistente a essas condições.

Inferese a importância da regeneração natural que através da maior abundância de indivíduos e de espécies, situação encontrada no fragmento A, desenvolve um papel crucial na regulação dos serviços ecossistêmicos, em especial da regulação hídrica que promove outros serviços ambientais como a recarga de água subterrâneas

REFERÊNCIAS

- Almeida, C. L., Oliveira, J. B., Prado, H. (1981). Levantamento pedológico semidetalhado do estado de São Paulo: Quadrícula de Brotas mapa de solos. Campinas: *Instituto Agrônomo de Campinas*.
- Almeida, H. d. (2009). Influência de variáveis ambientais e relações florísticas em um ecótono entre floresta estacional decidual e semidecidual no sudeste do Brasil. *60° Congresso Nacional de Botânica*.
- Begon, M., Harper, J. L., Townsed, C. R. (1996). Ecology. *Osney Mead: Oxford*.
- Callegaro, R. M., Araujo, M. M., Longhi, S. J., Andrzejewski, C. (2018). Influência de fatores ambientais sobre espécies vegetais em floresta estacional para uso potencial em restauração. *Nativa*. 6, 91-99.
- CEPAGRI. (2018). *Meteorologia Unicamp - Clima dos municípios paulista - Brotas*. Acesso em setembro de 2018, Disponível em: www.cpa.unicamp.br/outras_informacoes/clima_muni_091.html
- Ferreira, F. C. (2014). Ecologia Numérica. *UNIFESP – Campus Baixada Santista*.
- Gauch, H. G. (1982). Multivariate analysis in community ecology. *Cambridge: Cambridge University Press*.
- Júnior, F. W. G., Silva, A. F., Schaefer, C. E. G. R., Meira, J. A. A. (2007). Influence of soils and topographic gradients on tree species distribution in a Brazilian Atlantic Tropical Semideciduous Forest. *Edinb J Bot*. 64, 137-157.

- Ludwing, J. A., Reynolds, J. F. (1988). *Statistical ecology: A primer on methods and computing*. New York: *John Wiley & Son*.
- Machado, I. C., Lopes, A. V. (2002). A polinização em ecossistemas de Pernambuco: Uma revisão do estado atual do conhecimento. Em M. Tabarelli, J. C. Silva, Diagnóstico da Biodiversidade de Pernambuco. Recife: *Massangana*. 583-596.
- Marcuzzo, S. B., Araujo, M. M., Longhi, S. J. (2013). Estrutura e relações ambientais de grupos florísticos em fragmento de Floresta Estacional Subtropical. *Revista Árvore*. 37, 275-287.
- Oliveira, L. M. (1997). Diagnóstico de fragmentos florestais nativos, em nível de paisagem, em áreas sob influência da Veracruz Florestal Ltda. *Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais*. Viçosa, MG: UFV.
- Ruggiero, P. C. (2000). Levantamento pedológico relacionado às fitofisionomias encontradas na gleba cerrado pé-de-gigante, Parque Estadual de Vassununga. Santa Rita do Passa Quatro, SP.
- Santos, J. S., Ferreira, L. C., Silva, J. A., Souza, A. L., Santos, E. d., Meunier, I. J. (2004). Distinção de grupos ecológicos de espécies florestais por meio de técnicas multivariadas. *Revista Árvore*, 388.
- Scipioni, M. C., Longhi, S. J., Reinert, D. J., Araujo, M. M., Pedron, F. De A. (2010). A Distribuição do compartimento arbóreo em gradiente de relevo e solos na encosta Meridional da Serra Geral, RS. *Ciência Rural*. 40, 1295-1301.
- Souza, R. F., Machado, S. A., Galvão, F., Filho, A. F. (2017). Effect of environmental variables in the distribution of tree species in the Iguaçu National Park. *Revista Árvore*. 41, e410609.
- Ter Braak, C. F. (1988). Canoco - A fortran program for canonical community ordination by correspondence analysis and redundancy analysis. Wageningen: *Technical Report LWA*.
- Ter Braak, C. F. (1995). Ordination. Em R. G. Jongman, C. Ter Braak, O. R. Van Tongeren, *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge: Cambridge University Press. 91-173.
- Ter Braak, C. J. (1986). Canonical correspondence analysis: A new eigenvector method for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 1167-1179.
- Ter Braak, C. J. (1987). The analysis of vegetation-environment relationship by canonical correspondence analysis. *Vegatatio*, 77-222.

CONCLUSÃO GERAL

Através deste trabalho foi possível relacionar os serviços ecossistêmicos de regulação hídrica com o processo de regeneração natural, nos permitindo inferir que o fragmento em sucessão secundária mais avançada (FA) apresentou a maior produção de serapilheira, que, por sua vez, possuiu a distribuição em suas frações (folhas, galhos e amorfo) de maneira mais equilibrada. O amadurecimento da regeneração natural também apontou uma maior retenção hídrica efetiva na serapilheira nas condições em campo. Notou-se ainda a correlação negativa entre a capacidade de retenção hídrica da serapilheira e a precipitação, uma vez que, quanto mais água presente na serapilheira menor o espaço para reter nova água da chuva e mais gradativo será o processo de fornecer água para o solo.

Quanto mais avançado o estágio de desenvolvimento do fragmento, maior foi a sua umidade do solo, menor a sua densidade do solo e resistência a penetração, comprovando assim que o desenvolvimento de ecossistemas melhorou, na situação estudada, a qualidade do solo e seus serviços ecossistêmicos.

A velocidade básica de infiltração de água no solo apresentou valores relativamente baixos quando comparado à literatura, entretanto, isso não é devido a condutividade hidráulica que representa a infiltração a longo prazo, mas sim com a repelência do solo relacionada com a velocidade de infiltração a curto prazo, a qual demonstrou redução conforme o grau de desenvolvimento do fragmento, ainda que todos tratamentos tenham apresentado certo grau de repelência.

Através deste resultado, conclui-se que as variáveis ambientais responsáveis por serviços ecossistêmicos de suporte, foram positivamente impactadas pela regeneração natural. E, ainda, considerando a inter-relação da floresta com o meio, infere-se que a ocorrência da espécie *Croton floribundus*, espécie presente no bioma Cerrado, é influenciada pela umidade do solo e pela capacidade de retenção hídrica da serapilheira, mostrando a importância dos serviços de regulação hídrica.

REFERÊNCIAS

- Alarsa, C., Furlan, S. A., Colangelo, A. C. (2018). Aspectos do Meio Físico no Cenário dos Serviços Ecossistêmicos. *Revista do Departamento de Geografia da USP. Universidade de São Paulo*. 184-195.
- Andrade, D. C., Romeiro, A. R. (2009). Capital natural, serviços ecossistêmicos e sistema econômico: Rumo a uma “Economia dos Ecossistemas”. *IE/UNICAMP*.159.
- Castilho, V. M., Gómez-Plaza, A., Martínez-Mena, M. (2003). The role of antecedent soil water content in the runoff response of semiarid catchments. *Journal of Hydrology*, 284, 114-130.
- Constanza, R., D’arge, R., Groot, R., Farberk, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., Van Den Belt, M. (1997). The value of the world’s ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253-260.
- Daily, G.C. (1997). *Nature’s services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC.
- Daly, H. E., Farley, J. (2004). *Ecological Economics: Principles and Applications*. Washington D. C. *Island Press*.
- Fichino, B. S. (2014). Trade-off entre serviços ecossistêmicos de provisão, suporte e regulação em florestas de Araucária. Dissertação de mestrado. *Universidade de São Paulo*.
- Fonseca, V. L. I., Silva, P. N. (2010). As abelhas, os serviços ecossistêmicos e o Código Florestal. *Biota Neotrop*.10, 59-62.
- Griscom, H. P., Ashton, M. S. (2011). Forest ecology and management restoration of dry tropical forests in Central America: a review of pattern and process. *Forest Ecology and Management*, 261, 1564-1579.
- Kalacska, M., Sanchez-Azofeifa, G. A., Calvo-Alvarado, J. C., Quesada, M., Rivard, B., Janzen, D. H. (2004). Species composition, similarity and diversity in three successional stages of a seasonally dry tropical forest. *Forest Ecology and*

Management, 227-247.

- Lima, F. P. (2019). “Sem morcego, não tem pequi”: Percepção e conhecimento sobre os serviços ecossistêmicos para a conservação do Cerrado. (Doutorado em Recursos Naturais do Cerrado RENAC). *Universidade Estadual de Goiás*.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment). (2005). *Ecosystem and Human Well-Being: Synthesis*. Washington D. C. *Island Press*.
- Röckstrom, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F.S., Lambin, E.F., Lenton, T.M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H.J., Nykvist, B., Wit, C.A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P.K., Costanza, R., Svedin, U., Falkenmark, M., Karlberg, L., Corell, R.W., Fabry, V.J., Hansen, J., Walker, B., Liverman, D., Richardson, L. Crutzen, P. Foley, J.A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature* 461:472-475.
- Santos, A. A., Carneiro, A. P., Martinez, D. T., Caldeira, S. F. (2017). Capacidade de Retenção Hídrica do Estoque de Serapilheira de Eucalipto. *Floram - Floresta e Ambiente*.
- Santos, V. M. N., Bacci, D. De L. C. (2019). Educação e aprendizagem social para Geoconservação: Proteção de servilos ecossistêmicos e governança ambiental na Macrometrópole Paulista. *Terrae Didactica*. 15.
- Seeger, M., Errea, M. P., Beguería, S., Arnáez, J., Marti, C., García-Ruiz, J. M. (2003). Catchment soil moisture and rainfall characteristics as determinant factors for discharge/suspended sediment hysteretic loops in a small head catchment in the Spanish pyrenees. *Journal of Hydrology*.
- Sujii, E. R., Venzon, M., Medeiros, M. A., Pires, C. S. S., Togni, P. H. B. (2010). Práticas culturais no manejo de pragas na agricultura orgânica. In. M. Venzon, T. J., Paula J., Pallini, A. Controle alternativo de pragas e doenças na agricultura orgânica. *EPAMIG*, 143-168. Viçosa, Brasil.
- Timm, L. C., Pires, L. F., Roveratti, R., Arthur, R. C., Reichardt, K., & Oliveira, J. C. (2006). Field spatial and temporal patterns of soil water content and bulk density changes. *Sci. Agric.* 63, 55-64.

- Turetta, A. P. D., Castro, S. S. De., Polidoro, J. C. S. (2017). Sustentabilidade e Provisão de Serviços Ecosistêmicos. *Boletim Informativo da SBCS*. 26-30.
- Vallejo, L. R. (1982). A influência do "litter" na distribuição das águas pluviais. Instituto de Geociências UFRJ, Rio de Janeiro.
- Venzon, M., Togni, P. H. B., Amaral, D. S. S. L., Rezende, M. Q., Batista, M. C., Chiguachi, J. A. M., Martins, E. F., Perez, A. L. (2018). Mobilização de mecanismos de regulação natural de pragas via plantas com múltiplos serviços ecosistêmicos. *Innovations Agronomies*. 64. 83-95.
- Wang, C., Zhao, C. Y., Xu, Z. L., Wang, Y., Peng, H. H. (2013). Effect of vegetation on soil water retention and storage in a semi-arid alpine forest catchment. *Journal of Arid Land*, 5.