

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese/dissertação será disponibilizado somente a partir de 14/12/2024

At the author's request, the full text of this thesis/dissertation will not be available online until December 14, 2024

JÉSSICA AKEMI HITAKA SOARES

**EFEITO DA ESTRUTURA DE FLORESTAS EM RESTAURAÇÃO NAS VARIÁVEIS
AMBIENTAIS DE MICROCLIMA E NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO SOLO**

Botucatu

2022

JÉSSICA AKEMI HITAKA SOARES

**EFEITO DA ESTRUTURA DE FLORESTAS EM RESTAURAÇÃO NAS VARIÁVEIS
AMBIENTAIS DE MICROCLIMA E NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO SOLO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp Campus de Botucatu, um dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Ciência Florestal, do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Vera Lex Engel

Coorientador: Dr. Angelo Albano da Silva Bertholdi

Botucatu

2022

S676e Soares, Jéssica Akemi Hitaka
Efeito da estrutura de florestas em restauração nas variáveis ambientais de microclima e na disponibilidade hídrica do solo / Jéssica Akemi Hitaka Soares. -- Botucatu, 2023
108 p. : il., tabs., fotos

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu
Orientadora: Vera Lex Engel
Coorientador: Angelo Albano da Silva Bertholdi

1. Restauração ecológica. 2. Radiação solar. 3. Ecologia florestal. 4. Vegetação e clima. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

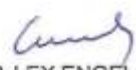
TÍTULO DA TESE: EFEITO DA ESTRUTURA DE FLORESTAS EM RESTAURAÇÃO NO
MICROCLIMA E NA DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO SOLO

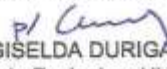
AUTORA: JÉSSICA AKEMI HITAKA SOARES

ORIENTADORA: VERA LEX ENGEL

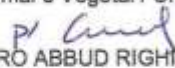
COORDENADOR: ANGELO ALBANO DA SILVA BERTHOLDI

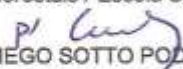
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em Ciência Florestal, pela
Comissão Examinadora:


Prof.ª Dr.ª VERA LEX ENGEL (Participação Virtual)
Ciência Florestal Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu UNESP


Prof.ª Dr.ª GISELDA DURIGAN (Participação Virtual)
Laboratório de Ecologia e Hidrologia Florestal - Floresta Estadual de Assis / Instituto Florestal do Estado de São Paulo


Prof. Dr. JOSÉ MARCELO DOMINGUES TOREZAN (Participação Virtual)
Biologia Animal e Vegetal / Universidade Estadual de Londrina


Prof. Dr. CIRO ABBUD RIGHT (Participação Virtual)
Ciências Florestais / Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz


Prof. Dr. DIEGO SOTTO PODADERA (Participação Virtual)
Pós-Doutorando - Departamento de Ciência Florestal, Solos e Ambiente / Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Botucatu, 14 de dezembro de 2022

Ao meu companheiro e a minha família pelo apoio e amor
nesta, e em outras fases de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus e aos meus guias espirituais.

Ao meu companheiro, Luís Fernando, pela ajuda e incentivo em todas as etapas do doutorado, mas principalmente por seu amor, amizade, paciência e carinho que me fortaleceram ao longo desta caminhada.

A minha família, por me encorajar e me dar força para prosseguir e concretizar mais este objetivo, não permitindo que eu desanime.

A família Pestana, minha família de coração, pelo carinho, amor e apoio.

A professora Vera e ao Angelo, pela incrível orientação, paciência e por todo ensinamento, os quais me fizeram crescer tanto profissionalmente como pessoalmente.

Ao Guilherme José Móres e Guilherme Alcarás de Góes pela amizade, risadas no campo e por terem compartilhado uma parte de seus dados para o desenvolvimento desta tese.

Ao João, Diana, Bárbara, Vinícius, Diego, Rolis, Polly, Lepo, Grelha, Beatriz, e por tantos outros alunos da graduação e da pós do Laboratório de Ecologia e Restauração Florestal (LERF) pela amizade, e por terem contribuído também com esta pesquisa, principalmente na coleta dos dados.

A todos os professores e colaboradores do Programa da Pós Graduação de Ciência Florestal e do viveiro, especialmente a Rosangela, pelo carinho comigo e por ter me ajudado muitas vezes.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil – CNPQ
- Processo: 141671/2019-0.

RESUMO

Em ecossistemas florestais degradados, a alteração das condições abióticas, entre elas o microclima e a disponibilidade hídrica do solo, pode ser um dos principais filtros para a colonização de espécies nativas adaptadas ao interior da floresta. Independentemente da técnica de restauração, supõe-se que a maior complexidade estrutural da vegetação contribuirá para a maior interceptação e absorção da radiação solar e para mudanças associadas à temperatura e umidade do ar e do solo. Apesar da importância, esse tema ainda é pouco explorado nas pesquisas com florestas em restauração. Visamos, com este trabalho, avaliar o estado da arte das pesquisas envolvendo estudos microclimáticos e de disponibilidade hídrica no solo em florestas tropicais restauradas, identificando os padrões emergentes de estudo, bem como avaliar o efeito da estrutura da vegetação nestas variáveis ambientais. O primeiro capítulo mostra os resultados de uma revisão sistemática da literatura abordando microclima florestal e restauração. Após realizarmos a prospecção de artigos e analisarmos a quantidade de publicações por ano, país e palavras-chaves, inferimos que a mudança das variáveis microclimáticas tem sido avaliada no contexto da restauração; contudo há necessidade de maior profundidade nas abordagens. Variáveis estruturais, como a cobertura, altura do dossel e a área basal, se destacam como preditoras de mudanças no microclima, indicando a existência de limiares para área basal e cobertura de dossel. No segundo capítulo, avaliamos se diferentes técnicas de restauração e a estrutura da vegetação alteraram a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), temperatura do ar ($T^{\circ}\text{C}$), umidade relativa (UR), déficit de pressão de vapor (DPV) no ar e potencial de água no solo. Testamos as seguintes hipóteses: (I) A estrutura da vegetação em áreas em processo de restauração da floresta estacional semidecidual afeta significativamente as condições microclimáticas e de água no solo; (II) Existem limiares relacionados aos parâmetros de estrutura florestal para estabilização do microclima e da disponibilidade hídrica no solo à medida que a estrutura da vegetação se desenvolve; e (III) Florestas com maior diversidade de espécies possuem condições microclimáticas e de disponibilidade hídrica no solo similares aos fragmentos de referência. Conduzimos esta pesquisa em dois sítios experimentais em Botucatu-SP, onde um experimento instalado entre 1997 e 1998 foram delineados em blocos ao acaso, com três repetições de cinco tratamentos em cada sítio, a saber: restauração passiva (RP), sistema agroflorestal

(SAF), consórcio de espécies para madeira e lenha (CML), semeadura direta (SEM) e plantio de alta diversidade (PAD), além da mata nativa de referência (REF). Registramos dados de microclima e potencial de água no solo em quatro épocas, durante um ano, e avaliamos parâmetros estruturais da vegetação. O IAF afetou negativamente a RFA. A altura média do dossel exerceu um efeito negativo no DPV e na T°C máxima, e positivo na UR média. Tanto o IAF quanto à altura média afetou positivamente a UR mínima. Houve a formação de pontos de inflexão nas curvas de regressão do IAF com a T°C e DPV máximo, evidenciando quedas mais acentuadas em ambas as medidas, a partir de uma IAF de 9,3. Somente a T°C máxima e as taxas de RFA foram afetadas pelos tratamentos, os quais se diferiram da mata nativa em relação a RFA diária e máxima, mas se igualaram na T°C máxima com exceção da restauração passiva. O potencial de água no solo não foi afetado significativamente pela estrutura ou pelos tratamentos. Para a RFA, a hipótese de que o PAD seria mais similar à mata de referência não foi confirmada, o que pode ser atribuído à alta heterogeneidade entre as parcelas deste tratamento.

Palavras-chave: estrutura da vegetação; filtros abióticos; mata atlântica; radiação solar; restauração ecológica.

ABSTRACT

In degraded forest ecosystems, the change in the abiotic conditions, including the microclimate and soil water availability, can be one of the main filters for the colonization of native species adapted to the forest understory. Regardless of the restoration technique, it is assumed that the greater structural complexity of the vegetation will contribute with the increase of interception and absorption of solar radiation and changes associated with the temperature and soil and air humidity. Despite its importance, this topic is still little explored in research with restored forests. We aimed at to evaluate the state of the art of research works involving microclimate and soil water availability in restored tropical forests, identifying patterns of variation, as well as evaluating the effect of vegetation structure on these environmental variables. The first chapter presents a systematic literature review of research papers addressing forest microclimate and restoration. After, analyzing the number of publications per year, country and keywords, we concluded that the change in microclimatic variables during restoration has been analyzed, but not as deep as necessary. Structural variables, such as forest cover, canopy height and basal area, stand out as predictors for changes in the microclimate, indicating the existence of thresholds for basal area and canopy cover. In the second chapter, we evaluated whether different restoration techniques and vegetation structure affect the photosynthetically active radiation (PAR), air temperature ($T^{\circ}\text{C}$), air relative humidity (ARH), vapor pressure deficit (VPD) and soil water potential (SWP). We tested the following hypotheses: (I) The vegetation structure of restored seasonal tropical forests significantly affects the microclimatic and soil water conditions throughout the year; (II) In restored tropical seasonal forests over 20 year-ages it is already possible to detect forest structure parameters thresholds for microclimate and soil water availability stabilization ; and (III) Forests with higher species diversity have microclimatic conditions and soil water availability similar to the reference forests. We conducted this research at two experimental sites at Botucatu-SP, where an experiment installed between 1997 and 1998 was designed in randomized blocks, with three replications of five treatments at each site, namely: passive restoration (PR), agroforestry system (AS), consortium of species for wood and firewood (CWF), direct seeding (DS) and high diversity planting (HDP), and the monitored native forest of reference (REF). We recorded microclimate data and soil water potential in four periods throughout one year

and evaluated the vegetation structural parameters. The IAF negatively affected PAR. Mean canopy height had a negative effect on DPV and maximum T°C, and a positive effect on mean RH. Both LAI and mean height positively affected minimum RH. There was the formation of inflection points in the LAI regression curves with T°C and maximum DPV, showing more accentuated drops in both measures, from an LAI of 9.3. Only the maximum T°C and the PAR rates were affected by the treatments, which differed from the native forest in relation to the daily and maximum PAR, but were equal in the maximum T°C with the exception of the passive restoration. Soil water potential was not significantly affected by structure or treatments. For PAR, the hypothesis that the HDP would be more similar to the reference forest was not confirmed, which can be attributed to the high heterogeneity between plots of this treatment.

Keywords: abiotic filters; atlantic forest; ecological restoration; solar radiation; vegetation structure.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Capítulo 1 – Relação entre o microclima e a estrutura da vegetação no contexto da restauração ecológica: uma análise sistemática da bibliografia

Figura 1 – Palavras-chave inseridas na plataforma de busca da *Web of Science*, *Scopus* e *Scielo* para a coleta de artigos originais e de revisão que abordaram a influência de parâmetros de estrutura da vegetação na alteração de variáveis ambientais no contexto da restauração ecológica de áreas florestais no Brasil e no mundo..... 33

Figura 2 – Número de artigos originais e de revisão que abordaram a influência de pelo menos um parâmetro de estrutura da vegetação na alteração de uma ou mais variáveis ambientais no contexto da restauração ecológica de áreas florestais no Brasil e no mundo, publicados nas plataformas de pesquisa 35

Figura 3 – Número de artigos por local (país) de realização dos experimentos que abordaram a influência de pelo menos um parâmetro de estrutura da vegetação na alteração de uma ou mais variáveis ambientais no contexto da restauração ecológica de áreas florestais no Brasil e no mundo 36

Figura 4 – Mapa de co-ocorrência de palavras-chave das pesquisas envolvendo a relação entre parâmetros da estrutura da vegetação com as variáveis ambientais no contexto da restauração de áreas florestais no Brasil e no mundo37

Figura 5 – Número de artigos originais e de revisão que abordaram a influência de pelo menos um parâmetro de estrutura da vegetação na alteração de uma ou mais variáveis ambientais no contexto da restauração ecológica de áreas florestais no Brasil e no mundo..... 39

Capítulo 2 – Microclima e disponibilidade hídrica do solo em áreas em restauração da floresta estacional semidecidual: influência de diferentes técnicas de restauração e da estrutura da vegetação

Figura 1 – Localização e delimitação da área de estudo..... 61

Figura 2 – Parcelas de referência e disposição dos blocos das diferentes técnicas de restauração na Área 1 e na Área 2..... 63

Figura 3 – <i>Data-logger</i> e sensores de microclima e de potencial de água do solo (disponibilidade hídrica do solo) utilizados para a amostragem das variáveis microclimáticas e de disponibilidade hídrica do solo	67
Figura 4 – Análise de Componentes Principais (ACP) da estrutura da vegetação das diferentes técnicas de restauração após 23 anos de implantação do experimento nas fazendas Lageado (Área 1, cor azul) e Edgardia (Área 2, cor vermelha)	75
Figura 5 – Efeito das variáveis estruturais de IAF (índice de área foliar) e altura média do dossel nas variáveis de microclima durante o pico da época úmida (fevereiro), após 23 anos de implantação	77
Figura 6 – Efeito do IAF (índice de área foliar) na temperatura máxima (T°C) e no déficit de pressão (DPV) máximo durante o pico da época úmida (fevereiro) após 23 anos de implantação	79
Figura 7 – Taxas de respostas média das variáveis de radiação fotossinteticamente ativa e temperatura máxima entre as técnicas de restauração e as florestas de referência	82

LISTA DE TABELAS

Capítulo 2 – Microclima e disponibilidade hídrica do solo em áreas em restauração da floresta estacional semidecidual: influência de diferentes técnicas de restauração e da estrutura da vegetação

Tabela 1 – Atributos físicos (textura) e químicos (fertilidade) do solo nas áreas experimentais Lageado (área 1) e Edgárdia (área 2)	62
Tabela 2 – Descrição dos tratamentos ou técnicas de restauração inseridos na Área 1 (Lageado) e Área 2 (Edgardia).....	64
Tabela 3 – Coeficientes das técnicas de restauração e da mata nativa de referência obtidos por intermédio dos valores médios transformados (método <i>box-cox</i>) das variáveis de radiação fotossinteticamente ativa e dos valores médios de temperatura máxima.....	80

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	21
CAPÍTULO 1 - RELAÇÃO ENTRE O MICROCLIMA E A ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO NO CONTEXTO DA RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA: UMA ANÁLISE SISTEMÁTICA DA BIBLIOGRAFIA	26
RESUMO	26
1.1 INTRODUÇÃO	27
1.2 MATERIAL E MÉTODOS	30
1.2.1 Coleta de dados	30
1.2.2 Análise de dados	32
1.3 RESULTADOS	33
1.3.1 Número de publicações, distribuição por países e principais palavras- chave.....	33
1.3.2 Número de pesquisas que abordaram a interação do microclima e da disponibilidade hídrica com a estrutura da vegetação	37
1.4 DISCUSSÃO	39
1.4.1 Avaliação do efeito da a estrutura florestal nas variáveis de microclima e de disponibilidade hídrica do solo em pesquisas de restauração de ecossistemas florestais no Brasil e no mundo	39
1.4.2 Padrões emergentes de influência da estrutura florestal no microclima e disponibilidade hídrica do solo em florestas restauradas	40
1.4.3 Indicadores ou limiares de mudança de variáveis do microclima ou de disponibilidade hídrica do solo em relação aos parâmetros de estrutura florestal	43
1.5 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	46
CAPÍTULO 2 - MICROCLIMA E DISPONIBILIDADE HÍDRICA DO SOLO EM ÁREAS EM RESTAURAÇÃO DA FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL: INFLUÊNCIA DE DIFERENTES TÉCNICAS DE RESTAURAÇÃO E DA ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO	54
RESUMO	54

2.1	INTRODUÇÃO	56
2.2	MATERIAL E MÉTODOS	59
2.2.1	Áreas de estudo	59
2.2.2	Delineamento experimental	61
2.2.3	Amostragem da estrutura da vegetação nos tratamentos de restauração.....	64
2.2.4	Amostragem das variáveis microclimáticas e de disponibilidade hídrica no solo nos tratamentos de restauração e de referência	65
2.2.5	Análise de dados	67
2.2.5.1	A estrutura da vegetação em áreas em processo de restauração da floresta estacional semidecidual afeta significativamente as condições microclimáticas e de disponibilidade hídrica do solo	67
2.2.5.2	Existem limiares relacionados aos parâmetros de estrutura florestal para a estabilização do microclima e de disponibilidade hídrica no solo à medida que a estrutura da vegetação se desenvolve	69
2.2.5.3	Florestas com maior diversidade de espécies possuem condições microclimáticas e de disponibilidade hídrica no solo similares aos fragmentos de referência	70
2.3	RESULTADOS	72
2.3.1	A estrutura da vegetação em áreas em processo de restauração da floresta estacional semidecidual afeta significativamente as condições microclimáticas e de disponibilidade hídrica do solo	72
2.3.1.1	Estrutura da vegetação dos diferentes tratamentos de restauração das Fazendas Edgardia e Lageado	72
2.3.1.2	Efeito das variáveis de estrutura da vegetação nas condições microclimáticas e de disponibilidade hídrica no solo	74
2.3.2	Existem limiares relacionados aos parâmetros de estrutura florestal para a estabilização do microclima e de disponibilidade de água à medida que a estrutura da vegetação se desenvolve	76
2.3.3	Florestas com maior diversidade de espécies possuem condições microclimáticas e de disponibilidade hídrica no solo similares aos fragmentos de referência.....	77
2.3.3.1	Comparações das técnicas de restauração florestal com a floresta de	

	referência em relação as variáveis de microclima	78
2.4	DISCUSSÃO	80
2.4.1	A estrutura da vegetação em áreas em processo de restauração da floresta estacional semidecidual afeta significativamente as condições microclimáticas e de disponibilidade hídrica do solo	80
2.4.1.1	Estrutura da vegetação dos diferentes tratamentos de restauração das Fazendas Edgardia e Lageado	80
2.4.1.2	Efeito das variáveis de estrutura da vegetação nas condições de microclimáticas e de disponibilidade hídrica do solo	82
2.4.2	Existem limiares relacionados aos parâmetros de estrutura florestal para a estabilização do microclima e de disponibilidade de água à medida que a estrutura da vegetação se desenvolve	84
2.4.3	Florestas com maior diversidade de espécies possuem condições microclimáticas e de disponibilidade hídrica no solo similares aos fragmentos de referência	85
2.5	CONCLUSÃO	88
	REFERÊNCIAS	89
	CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
	REFERÊNCIAS	99
	APÊNDICES	103

INTRODUÇÃO GERAL

A restauração ecológica é uma das principais práticas utilizadas para auxiliar na recuperação de uma área degradada (GUERRA *et al.*, 2020; SER, 2004). Compromissos ambientais nacionais e internacionais firmados pelo Brasil, como o Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa (PLANAVEG), que visa restaurar 12 milhões de hectares (WRI BRASIL, 2019), e o Desafio de Bonn de 2011, cujo objetivo é a restauração de 350 milhões de hectares até 2030 (IUCN, 2019), reforçam a importância e o aumento da aplicação desta atividade frente à degradação dos ecossistemas florestais. As técnicas de restauração podem ser aplicadas na forma passiva e a ativa. A restauração passiva envolve a retirada dos fatores de perturbação e a possibilidade de colonização da área por qualquer espécie dos habitats circundantes (BENAYAS *et al.*, 2009). Na restauração ativa, empregam-se técnicas mais intensivas de manejo, como a capina e o posterior plantio de sementes ou mudas, e algumas abordagens partem do princípio de que a reintrodução de uma alta diversidade de espécies e de grupos funcionais contribui mais para a integridade biológica e o funcionamento do ecossistema, principalmente, em regiões tropicais (NAEEM *et al.*, 2012; BENAYAS *et al.*, 2009). Em outros casos, são implantados sistemas mais simples, do ponto de vista estrutural e funcional, que priorizam a provisão de recursos (como, alimentos), associados aos serviços ecossistêmicos (como a ciclagem de nutrientes) (PONTES *et al.*, 2019).

Ao implementar a prática de restauração, espera-se conduzir a área degradada a uma trajetória sucessional que a levará a condições desejáveis (CHAZDON, 2014), como a formação de uma comunidade mínima viável, biodiversa e com os serviços ecossistêmicos recuperados. Contudo, para que isso aconteça, filtros ambientais abióticos, como temperaturas elevadas, precisam ser superados (HOBBS; NORTON, 2004), de modo que uma comunidade inicial se estabeleça e seja capaz de persistir a ponto de provocar mudanças ambientais subsequentes que irão garantir a continuidade da sucessão (ENGEL; PARROTTA, 2008). Espera-se que a vegetação estabelecida proporcione modificação nos filtros ambientais abióticos, tais como as condições microclimáticas (radiação fotossinteticamente ativa (RFA), temperatura do ar e do solo, umidade relativa e déficit de pressão de vapor (DPV) do ar, disponibilidade hídrica do solo), de modo a torna-las mais estáveis e mais

semelhantes às de uma mata nativa, favorecendo a regeneração das espécies adaptadas ao habitat de interior da floresta (BIZUTI *et al.*, 2016).

Independentemente da técnica de restauração empregada, o principal fator biótico responsável por alterar o microclima e a disponibilidade hídrica do solo é o arranjo espacial dos elementos dentro da floresta, ou seja, a sua estrutura (ARX *et al.*, 2013; BENAYAS *et al.*, 2009; MCELHINNY *et al.*, 2005;). Por ocupar o espaço entre a atmosfera e o solo, os componentes individuais da vegetação, como as folhas e galhos, realizam trocas de energia com a atmosfera (como a evapotranspiração) e absorvem e emitem a radiação fotossinteticamente ativa, resultando na formação de um microclima distinto em relação à área circundante (GEIGER *et al.*, 1995). As particularidades da estrutura de cada fisionomia florestal (como a altura e o número de estratos) podem ocasionar maiores ou menores diferenciações microclimáticas em relação às áreas abertas. Por exemplo, as florestas tropicais secas são 3,1 °C mais frias que áreas abertas; já nas florestas tropicais úmidas esta diferença pode chegar a 9,5°C (LEBRIJA-TREJOS *et al.*, 2011). Ainda, as distintas características estruturais podem ser responsáveis também pela formação de gradientes de microclima em florestas contíguas.

A estrutura da vegetação inicia a alteração do microclima pela interceptação, absorção e transmissão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), ou seja, a radiação que é utilizada para a fotossíntese. O aumento da cobertura e densidade do dossel superior altera o regime da RFA direta, pois uma menor quantidade chegará ao chão da floresta, devido à reflexão, e principalmente à absorção pelas folhas do dossel superior (KOVÁCS *et al.*, 2017; MEIJIDE *et al.*, 2018). No sub-bosque, estrato florestal constituído por indivíduos arbóreos regenerantes e espécies herbáceas e arbustivas (SILVA, 2018), a radiação direta é mais heterogênea em relação à radiação difusa (OLPENDA *et al.*, 2018). A radiação direta alcança o chão da floresta, na forma de raios de luz solar direta (*sunflecks*) que entram por aberturas do dossel da floresta (GUARIGUATA; KATTAN, 2002; LEBRIJA-TREJO *et al.*, 2011). Já a radiação difusa, que ocorre principalmente em dias nublados, pode predominar no sub-bosque (MONTAGNINI; JORDAN, 2005). Contudo, a capacidade de moderação do dossel pode mudar em fisionomias que perdem folhas em épocas mais secas do ano (SOUZA *et al.*, 2014; ARX *et al.*, 2013).

A menor taxa de radiação chegando ao solo modifica automaticamente outras variáveis microclimáticas. A absorção da radiação pelo dossel é convertida em calor

latente (evapotranspiração), que somado ao efeito de sombreamento do dossel auxilia na diminuição da temperatura e em sua variação, além também diminuir o DPV (DAVIS *et al.*, 2019; FREY *et al.*, 2016; MEIJIDE *et al.*, 2018). O incremento em altura e a estratificação do dossel também atuarão no decréscimo e na estabilização da temperatura e do DPV (FREY *et al.*, 2016; MEIJIDE *et al.*, 2018), pois aumentam a distância do solo em relação ao topo do dossel e a áreas vizinhas mais abertas. No sentido contrário, há o aumento da umidade relativa (KÓVACS *et al.*, 2017; TREJOS *et al.*, 2011) que possui uma relação inversa com a temperatura, e da disponibilidade hídrica do solo, uma vez que o aumento da cobertura do dossel diminui a evaporação de água do solo (GUARIGUATA; OSTERTAG, 2001; TREJOS *et al.*, 2011).

Entretanto, mesmo que as diferentes abordagens utilizadas para a restauração florestal possibilitem a formação da estrutura da vegetação, não há evidências que demonstrem que a mudança do microclima ocorrerá no mesmo período, intensidade e direção nas diferentes técnicas de restauração. Isto ocorre, pois a estabilização das variáveis do microclima e de água do solo dependerá também da diversidade de espécies inseridas no processo de restauração, e pelo nível de complexidade estrutural da comunidade. A maior diversidade nas comunidades florestais proporciona o efeito de complementaridade de nichos, uma vez que a presença de diferentes traços funcionais no sistema em restauração, como diferentes alturas ou tolerâncias a sombra, resulta na partição de recursos (diferenciação de nichos) e na diminuição da competição (MENSAH *et al.*, 2018; MORIN *et al.*, 2011). Desta forma, há maior formação e preenchimentos dos estratos, aumentando o índice de área foliar e a estratificação e altura do dossel.

Apesar das pesquisas em florestas tropicais, temperadas e em plantios puros evidenciarem que sistemas de maior diversidade possuem maior complexidade estrutural e, por conseguinte, menores oscilações e valores menos extremos das variáveis do microclima (FREY *et al.*, 2016; HARDWICK *et al.*, 2015; RISSANEN *et al.*, 2019; WILLIAMS *et al.*, 2017), ainda há lacunas nas pesquisas sobre este tipo de interação em áreas em restauração. Quando, o quanto e como as propriedades de estrutura (altura, área basal, entre outros) são capazes de influir na recuperação destas variáveis abióticas (GAVITO *et al.*, 2021; HARDWICK *et al.*, 2015) em diferentes técnicas de restauração, ainda não terem sido bem avaliados. O longo prazo para realização da coleta de dados (em função da necessidade de um desenvolvimento mínimo da estrutura da vegetação), investimentos financeiros de alto

custo para aquisição de materiais (como sensores e “*data loggers*”) para o registro dos dados (GENDRON *et al.*, 2001; JAEN; AIDE, 2005; ZELLWEGER *et al.*, 2019) e a complexidade envolvida na validação e tratamento dos dados (WOLF *et al.*, 2021), podem contribuir para a incipiente aplicação deste tipo de avaliação em experimentos acadêmicos relacionados à restauração ecológica.

Consequentemente, há poucas publicações de pesquisas científicas demonstrando as relações intrínsecas entre as condições de microclima e água no solo com a estrutura da vegetação, ou até mesmo de estudos mais descritivos das condições de microclima de áreas em restauração florestal. A melhor compreensão do microclima florestal e de sua mudança contribui para a melhoria do ajuste de modelos de distribuição das espécies, tendo em vista que as condições ambientais locais (como topografia e vegetação) podem resultar em microclimas substancialmente distintos do macroclima (KOVÁCS *et al.*, 2020; WOLF *et al.*, 2021). Por intermédio da análise de dados obtidos do microclima em florestas em restauração, podem ser geradas inferências realistas para a avaliação das condições abióticas que impliquem no desenvolvimento da comunidade. Este tipo de informação subsidia a tomada de decisão sobre o manejo das áreas, podendo nortear o enriquecimento da comunidade com espécies mais exigentes em condições abióticas (WALLACE *et al.*, 2017), inserir outras com o intuito de diminuir as oscilações das variáveis de microclima ou ainda, a extração dos componentes arbóreos, com as possíveis consequências no microclima (KOVÁCS *et al.*, 2020).

Objetivamos, com este trabalho, avaliar o estado da arte das pesquisas sobre microclima de áreas restauradas, no contexto das florestas tropicais, buscando identificar padrões e lacunas do conhecimento, bem como avaliar o efeito da estrutura da vegetação e de diferentes técnicas de restauração da Floresta Estacional Semidecidual nas condições microclimáticas e de disponibilidade hídrica no solo. Para isso, o trabalho foi estruturado em dois capítulos.

No primeiro capítulo, realizamos uma revisão sistemática de literatura para verificar se as pesquisas acadêmicas estão abordando o efeito da estrutura da vegetação no microclima e da disponibilidade hídrica do solo, no contexto da restauração ecológica florestal. Buscamos responder as seguintes perguntas:

- 1) As pesquisas de restauração de ecossistemas florestais, no Brasil e no mundo, estão abordando a influência da estrutura da vegetação nas variáveis de microclima e de disponibilidade hídrica do solo?

2) Existem padrões emergentes de influência da estrutura da vegetação no microclima e disponibilidade hídrica do solo em florestas restauradas?

3) Há indicadores ou limiares nos parâmetros de estrutura da vegetação que se relacionam a mudanças nas variáveis do microclima ou disponibilidade hídrica do solo?

No segundo capítulo, utilizamos dados primários de um experimento implantando em 1997 e denominado “Restauração da Mata Atlântica em Sítios Degradados no Estado de São Paulo”. Fruto de uma parceria entre pesquisadores da Universidade Estadual Paulista (UNESP) e USDA – Forest Service, este experimento foi desenvolvido para avaliar a sustentabilidade ecológica, econômica e social de diferentes associações de espécies (MACHADO, 2016) e desde sua implantação tem sido desenvolvidas diferentes pesquisas, como: estoque de madeira e biomassa (PONTES, 2019; NOGUEIRA JUNIOR, 2010), regeneração (FIGUEIREDO, 2018; PODADERA *et al.*, 2015), respostas ecofisiológicas (BERTHOLDI, 2019), ciclagem de nutrientes (MACHADO, 2016), entre outras. Com os dados coletados neste experimento, buscamos no segundo capítulo comparar as condições microclimáticas e de disponibilidade hídrica do solo de diferentes técnicas de restauração com as observadas nas matas nativas de referência. Também investigamos a influência das técnicas de restauração e das métricas da estrutura da vegetação na alteração das variáveis de microclima e de água no solo, além da possibilidade de existência de limiares nos parâmetros de estrutura para estabilização das variáveis microclimáticas estudadas.

Buscamos testar as seguintes hipóteses:

- I. A estrutura da vegetação em áreas em processo de restauração da floresta estacional semidecidual afeta significativamente as condições microclimáticas e de disponibilidade hídrica do solo.
- II. Existem limiares relacionados aos parâmetros de estrutura florestal para a estabilização do microclima e de disponibilidade hídrica no solo à medida que a estrutura da vegetação se desenvolve.
- III. Florestas com maior diversidade de espécies possuem condições microclimáticas e de disponibilidade hídrica no solo similares aos fragmentos de referência.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O efeito da estrutura florestal em variáveis ambientais de microclima e de disponibilidade hídrica de áreas em restauração é um nicho de pesquisa que está em desenvolvimento e crescimento, especialmente em florestas temperadas e tropicais. Assim como em outros estudos na literatura, as características morfológicas da espécie (exemplo: altura total) e do povoamento (IAF) são percursoras da mudança das variáveis de microclima. Estas mudanças têm sido abordadas principalmente, no contexto da regeneração natural.

No presente estudo, a maior cobertura do dossel (como o índice de área foliar) afetou negativamente a radiação fotossinteticamente ativa. A altura média dos indivíduos arbóreos destacou-se por afetar negativamente a T°C máxima e o DPV médio e máximo, e positivamente ao aumentar as taxas de umidade relativa. O progressivo desenvolvimento da estrutura florestal resulta em valores de IAF que culminam em alterações mais significativas do microclima, assim como sua estabilização. Neste caso, IAF com valores próximos a 9 indicaram quedas significativas da temperatura e déficit de pressão de vapor máximo.

Além dos parâmetros estruturais, as técnicas de restauração afetaram significativamente a T°C e a RFA. A técnica com alta diversidade de espécies foi similar a floresta de referência, somente em relação a T°C máxima. Apesar de possuir valores elevados de IAF, à alta heterogeneidade entre as parcelas deste tratamento, pode estar afetando a RFA. Além disso, o comprovado efeito dos parâmetros de estrutura de povoamento, como o índice de área foliar e a altura média dos indivíduos arbóreos no amortecimento do microclima, podem indicar que a nível específico (traços morfológicos), estes parâmetros podem ser mais significativos para a formação do microclima, do que a diversidade de espécies em si. Deste modo, sugerimos que a seleção das espécies para introdução em plantios de restauração, seja embasada também na área foliar e na altura total dos indivíduos adultos, além dos critérios já normalmente utilizados.

Finalmente, são necessários mais estudos que abordem com maior profundidade os mecanismos responsáveis pelo efeito da estrutura florestal no microclima e da disponibilidade hídrica do solo, tendo em vista o potencial de aplicabilidade no monitoramento e manejo.

REFERÊNCIAS

- ARX, G. V.; PANNATIER, E. G.; THIMONIER, A.; REBETEZ, M. Microclimate in forests with varying leaf area index and soil moisture: Potential implications for seedling establishment in a changing climate. **Journal of Ecology**, [s. l.], v. 101, n. 5, p. 1201–1213, 2013.
- BENAYAS, J. M. R.; NEWTON, A. C.; DIAZ, A.; BULLOCK, J. M. Enhancement of Biodiversity and Ecosystem Services by Ecological Restoration: A Meta-Analysis. **Science**, [s. l.], v. 325, n. 5944, p. 1121–1124, 2009. Disponível em: <https://sci-hub.tw/10.1126/science.1172460>. Acesso em: 25 mar. 2020.
- BERTHOLDI, A. A. S. **Aquisição do carbono e atividade fotoquímica em sistemas de restauração ecológica com estrutura e diversidade de espécies contrastantes**. 2019. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.
- BIZUTI, D. T. G.; TANIWAKI, R. H.; SILVA, R. J.; COSTA, C. O. R. da; RONCON, T. J.; VIANI, R. A. G.; BRANCALION, P. H. S. Influência da composição de espécies florestais no microclima de sub-bosque de plantios jovens de restauração. **Scientia Forestalis**, [s. l.], v. 44, n. 112, p. 971–978, 2016.
- CHAZDON, R. L. **Second Growth: the promise of tropical forest regeneration in na age of deforestation**. London: The University of Chicago Press, 2014.
- DAVIS, K. T.; DOBROWSKI, S. Z.; HOLDEN, Z. A.; HIGUERA, P. E.; ABATZOGLOU, J. T. Microclimatic buffering in forests of the future: the role of local water balance. **Ecography**, [s. l.], v. 42, n. 1, p. 1–11, 2019.
- ENGEL, V. L., PARROTA, J. A. **Definindo a restauração ecológica: tendências e perspectivas mundiais**. 2008. In: KAGEYAMA, P. Y. (Ed.). Restauração ecológica de ecossistemas naturais. Botucatu, São Paulo, p. 1-26, 2008.
- FIGUEIREDO, L. P. I. **A comunidade regenerante em diferentes sistemas de restauração ecológica na floresta estacional semidecidual**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2018.
- FREY, S. J. K.; HADLEY, A. S.; JOHNSON, S. L.; SCHULZE, M.; JONES, J. A.; BETTS, M. G. Spatial models reveal the microclimatic buffering capacity of old-growth forests. **Science Advances**, [s. l.], v. 2, n. 4, p. e1501392, 2016.
- GAVITO, M. E.; PAZ, H.; BARRAGÁN, F.; SIDDIQUE, I.; ARREOLA-VILLA, F.; PINEDA-GARCÍA, F.; BALVANERA, P. Indicators of integrative recovery of vegetation, soil and microclimate in successional fields of a tropical dry forest. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 479, p. 118526, 2021.
- GEIGER, R.; ARON, R. H.; TODHUNTER, P. **The Climate Near the Ground**. 5. ed. Michigan: Harvard University Press: [s. n.], 1995. 1995.
- GENDRON, F.; MESSIER, C.; COMEAU, P. G. **Temporal variations in the understorey photosynthetic photon flux density of a deciduous stand: the**

effects of canopy development, solar elevation, and sky conditions *Agricultural and Forest Meteorology*. [S. l.: s. n.], 2001.

GUARIGUATA, M. R.; KATTAN, G. G. **Ecologia y conservacion de Bosques Neotropicales**. 2. ed. Cartago: Ediciones LUR: [s. n.], 2002. 2002.

GUARIGUATA, M. R.; OSTERTAG, R. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristics. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 148, n. 1–3, p. 185–206, 2001.

GUERRA, A.; REIS, L. K.; BORGES, F. L. G.; OJEDA, P. T. A.; PINEDA, D. A. M.; MIRANDA, C. O.; MAIDANA, D. P. F. de L.; SANTOS, T. M. R. dos; SHIBUYA, P. S.; MARQUES, M. C. M.; LAURANCE, S. G. W.; GARCIA, L. C. **Ecological restoration in Brazilian biomes: Identifying advances and gaps**. [S. l.]: Elsevier B.V., 2020.

HARDWICK, S. R.; TOUMI, R.; PFEIFER, M.; TURNER, E. C.; NILUS, R.; EWERS, R. M. The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s. l.], v. 201, p. 187–195, 2015.

HOBBS, R. J.; NORTON, D. A. Ecological filters, thresholds, and gradient in resistance to ecosystem reassembly. In: TEMPERTON, V. M.; HOBBS, R. J.; NUTTLE, T.; HALLE, S. **Assembly rules and restoration ecology: bridging the gap between theory and practice**. Washington: Island Press, 2004.

IUCN. International Union for Conservation of Nature. **The bonn Challenge**. 2019. Disponível em: < <https://www.bonnchallenge.org/> >.

KOVÁCS, B.; TINYA, F.; NÉMETH, C.; ÓDOR, P. Unfolding the effects of different forestry treatments on microclimate in oak forests: results of a 4-yr experiment. **Ecological Applications**, [s. l.], v. 30, n. 2, 2020.

KOVÁCS, B.; TINYA, F.; ÓDOR, P. Stand structural drivers of microclimate in mature temperate mixed forests. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s. l.], v. 234–235, p. 11–21, 2017.

MACHADO, D. L. M. **Aporte de serapilheira, fauna edáfica e matéria orgânica do solo em diferentes sistemas de restauração florestal**. 2016. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

MCELHINNY, C.; GIBBONS, P.; BRACK, C.; BAUHUS, J. Forest and woodland stand structural complexity: Its definition and measurement. **Forest Ecology and Management**, [s. l.], v. 218, n. 1–3, p. 1–24, 2005.

MEIJIDE, A.; BADU, C. S.; MOYANO, F.; TIRALLA, N.; GUNAWAN, D.; KNOHL, A. Impact of forest conversion to oil palm and rubber plantations on microclimate and the role of the 2015 ENSO event. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s. l.], v. 252, p. 208–219, 2018.

MENSAH, S.; DU TOIT, B.; SEIFERT, T. Diversity–biomass relationship across forest layers: implications for niche complementarity and selection effects. **Oecologia**, [s. l.], v. 187, n. 3, p. 783–795, 2018.

MONTAGNINI, F.; JORDAN, C. F. **Tropical forest ecology: the basis for conservation and management**. Springer: [s. n.], 2005.

MORIN, X.; FAHSE, L.; SCHERER-LORENZEN, M.; BUGMANN, H. Tree species richness promotes productivity in temperate forests through strong complementarity between species. **Ecology Letters**, [s. l.], v. 14, n. 12, p. 1211–1219, 2011. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1461-0248.2011.01691.x>. Acesso em: 16 nov. 2021.

NAEEM, S.; DUFFY, J. E.; ZAVALA, E. **The functions of biological diversity in an age of extinction**. [S. l.]: American Association for the Advancement of Science, 2012. Disponível em: <https://www.sciencemag.org/lookup/doi/10.1126/science.1215855>. Acesso em: 6 ago. 2020.

NOGUEIRA JUNIOR, L. R. **Estoque de carbono na fitomassa e mudanças nos atributos do solo em diferentes modelos de restauração da Mata Atlântica**. 2010. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade de São Paulo, ESALQ, Piracicaba, 2010.

OLPENDA, A. S.; STERENCZAK, K.; BĘDKOWSKI, K. Modeling Solar Radiation in the Forest Using Remote Sensing Data: A Review of Approaches and Opportunities. **Remote Sensing** 2018, Vol. 10, Page 694, [s. l.], v. 10, n. 5, p. 694, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/5/694/htm>. Acesso em: 1 dez. 2021.

PODADERA, D. S.; ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A.; MACHADO, D. L.; SATO, L. M.; DURIGAN, G. Influence of Removal of a Non-native Tree Species *Mimosa caesalpinhiifolia* Benth. on the Regenerating Plant Communities in a Tropical Semideciduous Forest Under Restoration in Brazil. **Environmental Management**, [s. l.], v. 56, n. 5, p. 1148–1158, 2015.

PONTES, D. M. F.; ENGEL, V. L.; PARROTTA, J. A. Forest Structure, Wood Standing Stock, and Tree Biomass in Different Restoration Systems in the Brazilian Atlantic Forest. **Forests**, [s. l.], v. 10, n. 7, p. 588, 2019. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/10/7/588>. Acesso em: 26 mar. 2020.

RISSANEN, K.; MARTIN-GUAY, M. O.; RIOPEL-BOUVIER, A. S.; PAQUETTE, A. Light interception in experimental forests affected by tree diversity and structural complexity of dominant canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s. l.], v. 278, p. 107655, 2019.

JAEN, M. C. R.; AIDE, T. M. Restoration Success: How Is It Being Measured?. **Restoration Ecology**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 569–577, 2005. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1526-100X.2005.00072.x>. Acesso em: 29 abr. 2021.

SER. Society for ecological restoration international. **Primer on ecological restoration**. 2004. Disponível em: https://cdn.ymaws.com/www.ser.org/resource/resmgr/custompages/publications/ser_publications/ser_primer.pdf.

SOUZA, F. M.; GANDOLFI, S.; RODRIGUES, R. R. Deciduousness Influences the

Understory Community in a Semideciduous Tropical Forest. **Biotropica**, [s. l.], v. 46, n. 5, p. 512–515, 2014. Disponível em: <http://doi.wiley.com/10.1111/btp.12137>. Acesso em: 3 maio 2021.

TREJOS, E. L.; GARCÍA, E. A.P.; MEAVE, J. A.; POORTER, L.; BONGERS, F. Environmental changes during secondary succession in a tropical dry forest in Mexico. **Journal of Tropical Ecology**, [s. l.], v. 27, n. 5, p. 477–489, 2011.

WALLACE, K. J.; LAUGHLIN, D. C.; CLARKSON, B. D. Exotic weeds and fluctuating microclimate can constrain native plant regeneration in urban forest restoration. **Ecological Applications**, [s. l.], v. 27, n. 4, p. 1268–1279, 2017.

WILLIAMS, L. J.; PAQUETTE, A.; CAVENDER-BARES, J.; MESSIER, C.; REICH, P. B. Spatial complementarity in tree crowns explains overyielding in species mixtures. **Nature Ecology and Evolution**, [s. l.], v. 1, n. 4, p. 0063, 2017.

WOLF, C.; BELL, D. M.; KIM, H.; NELSON, M. P.; SCHULZE, M.; BETTS, M. G. Temporal consistency of undercanopy thermal refugia in old-growth forest. **Agricultural and Forest Meteorology**, [s. l.], v. 307, p. 108520, 2021.

WRI BRASIL. WORLD RESOURCE INSTITUTE. **Você sabe o que é o PLANAVEG? Conheça o plano do Brasil para restaurar 12 milhões de hectares**. Disponível em: <<https://wribrasil.org.br/pt/blog/2019/05/voce-sabe-o-que-e-planaveg-conheca-o-plano-do-brasil-para-restaurar-12-milhoes-de-hectares>>. Acesso em: setembro de 2019.

ZELLWEGER, F.; COOMES, D.; LENOIR, J.; DEPAUW, L.; MAES, S. L.; WULF, M.; KIRBY, K. J.; BRUNET, J.; KOPECKÝ, M.; MÁLIŠ, F.; SCHMIDT, W.; HEINRICHS, S.; DEN OUDEN, J.; JAROSZEWICZ, B.; BUYSE, G.; SPICHER, F.; VERHEYEN, K.; DE FRENNE, P. Seasonal drivers of understory temperature buffering in temperate deciduous forests across Europe. **Global Ecology and Biogeography**, [s. l.], v. 28, n. 12, p. 1774–1786, 2019.

APÊNDICE A - Média e desvio padrão das variáveis estruturais por tratamento e área utilizadas na regressão múltipla

Área	Trat	Altura Total (m)		CV da Altura (%)		IAF	
		Média	DP	Média	DP	Média	DP
Lag	RP	7,24	3,08	0,29	0,20	5,60	2,69
Lag	SEM	15,05	6,89	0,46	0,07	6,13	1,60
Lag	SAF	22,5	11,1	0,39	0,07	8,68	0,48
Lag	PAD	12,92	4,75	0,38	0,07	7,93	0,78
Lag	CML	24,7	10,1	0,39	0,05	8,40	0,75
Edg	RP	6,38	2,11	0,33	0,06	2,16	0,52
Edg	SEM	10,81	6,16	0,56	0,03	6,20	1,62
Edg	SAF	10,21	4,2	0,39	0,06	8,36	0,94
Edg	PAD	10,45	4,3	0,41	0,02	7,81	0,50
Edg	CML	8,97	3,25	0,36	0,07	8,32	0,59

Legenda: Lag = Lageado; Edg = Edgardia; Trat = tratamento; DP = desvio padrão; ima (m); CV Alt. = coeficiente de variação da altura; IAF = índice de área foliar (m²/m²)

APÊNDICE B - Modelos lineares mistos indicando o efeito das técnicas de restauração nas variáveis microclimáticas após 23 anos de implantação do experimento nas fazendas Lageado (Área 1) e Edgardia (Área 2), na cidade de Botucatu (SP)

	AIC	Δ AIC	Modelo	Adj-R ² Efeitos Fixos	Efeitos Aleatórios
Média da Radiação Fotossinteticamente Ativa Máxima (das 11h às 13h) (t)					
(I) Nulo	459,05	79	0,04	-	0,04
(II) Tratamento	380,06	0	0,56	0,51	0,05
Mediana da Radiação Fotossinteticamente Ativa Diária (das 06 às 18h) (t)					
(I) Nulo	429,18	45,2	0,31	-	0,31
(II) Completo	393,94	0	0,56	0,25	0,31
Mediana da Temperatura do Ar Diária (C°)					
(I) Nulo	659,02	0	0,46	-	0,46
(II) Completo	659,15	0,1	0,47	0,02	0,44
Temperatura do Ar Máxima (C°)					
(I) Nulo	726,44	16,2	0,44	-	0,45
(II) Completo	710,29	0	0,51	0,08	0,43
Umidade Relativa Média do Ar (%)					
(I) Nulo	-343,89	0	0,62	-	0,62
(II) Completo	-310,83	33,1	0,63	0,02	0,60
Umidade Relativa Mínima do Ar (%)					
(I) Nulo	-507,43	0	0,61	-	0,61
(II) Completo	-466,90	40,5	0,62	0,02	0,60
Déficit de Pressão de Vapor Médio (kPa)					
(I) Nulo	81,71	0	0,54	-	0,54
(II) Completo	98,32	16,6	0,56	0,03	0,53

Déficit de Pressão de Vapor Máximo (kPa)					
(I) Nulo	305,28	0	0,51	-	0,51
(II) Completo	314,61	9,3	0,63	0,03	0,50

Potencial de Água no Solo (kPa)					
(I) Nulo	1283,96	0	-	-	-
(II) Completo	1298,30	5,3	-	-	-

Legenda: t = valor transformado; AIC = Critério de Informação de Akaike; ΔAIC = diferença entre o AIC do melhor modelo em relação ao modelo i, $ajd-R^2$ = coeficiente de determinação ajustado

APÊNDICE C - Variação dos dados de microclima e de disponibilidade hídrica do solo por tratamento (técnica de restauração), época e área, após 23 anos de implantação do experimento nas fazendas Lageado (Área 1) e Edgardia (Área 2), na cidade de Botucatu (SP)

Área	Época	Trat	RFA		T (°C)			UR (%)				DPV (kPa)				Potencial (kPa)	
			Med	Máx	Mín	Med	Máx	Mín	Média	DP	Máx	Mín	Média	DP	Máx	Média	DP
Edg	Fev	CML	14,19	27,00	20,90	25,10	30,97	0,64	0,75	0,01	0,853	2,20	0,85	0,44	1,92	-34,16	27,26
		PAD	27,16	92,77	20,80	24,83	31,13	0,64	0,76	0,01	0,858	2,18	0,84	0,45	1,92	-14,44	2,36
		REF	0,00	0,50	21,03	23,67	27,87	0,71	0,80	0,02	0,844	2,40	0,62	0,26	1,49	-15,69	3,86
		RP	350,34	843,50	19,77	24,33	34,23	0,58	0,74	0,00	0,856	2,03	0,94	0,61	2,38	-19,66	7,20
		SAF	37,23	170,18	20,33	24,70	31,23	0,63	0,75	0,01	0,866	2,16	0,82	0,43	1,91	-19,66	7,20
		SEM	69,58	234,88	20,40	24,70	30,93	0,64	0,76	0,00	0,867	2,16	0,79	0,43	1,94	-13,59	1,94
	Maio	CML	6,71	20,55	13,37	17,50	24,63	0,52	0,66	0,05	0,751	1,36	0,76	0,40	1,87	-113,39	135,13
		PAD	12,82	131,94	13,23	17,23	24,93	0,50	0,66	0,03	0,769	1,37	0,70	0,40	1,76	-87,12	99,34
		REF	0,00	0,91	14,47	17,10	21,20	0,78	0,84	0,01	0,866	1,62	0,33	0,09	0,57	-62,95	18,83
		RP	92,77	150,35	15,30	21,67	28,93	0,53	0,71	0,01	0,850	1,49	0,82	0,50	1,87	-27,37	8,29
		SAF	9,46	37,43	14,83	20,30	27,07	0,56	0,71	0,05	0,814	1,72	0,72	0,44	1,93	-72,35	77,51
		SEM	52,49	305,07	14,23	16,93	24,63	0,49	0,64	0,02	0,732	1,31	0,81	0,38	1,75	-18,49	2,78
	Set	CML	53,40	166,93	19,83	26,57	34,17	0,36	0,53	0,03	0,729	2,27	1,82	0,99	3,95	-21,63	0,31
		PAD	94,90	387,27	19,57	25,70	35,37	0,40	0,55	0,08	0,723	1,90	1,65	1,09	4,62	-29,08	7,43
		REF	3,05	12,51	17,07	19,97	27,60	0,52	0,64	0,03	0,728	1,93	0,97	0,43	1,84	-41,09	27,64
		RP	293,88	651,24	18,37	25,80	35,47	0,37	0,56	0,02	0,785	1,88	1,48	0,94	3,46	-62,65	34,52
		SAF	87,89	241,09	19,33	25,20	35,17	0,33	0,50	0,03	0,673	1,90	1,69	0,99	4,29	-36,75	13,33
		SEM	48,83	158,99	19,60	25,67	34,80	0,40	0,56	0,07	0,724	1,90	1,58	0,99	4,09	-38,04	2,92
	Nov	CML	64,39	240,27	16,50	20,93	28,80	0,56	0,71	0,07	0,820	1,49	0,86	0,64	2,44	-10,81	0,52
		PAD	103,45	236,61	16,60	21,33	28,87	0,53	0,68	0,07	0,793	1,53	0,95	0,63	2,40	-12,40	1,98
		REF	3,05	15,56	18,93	22,27	29,93	0,57	0,77	0,03	0,864	2,17	0,67	0,51	2,26	-24,22	11,59
		RP	286,25	556,23	15,30	19,20	27,37	0,60	0,77	0,09	0,870	1,48	0,66	0,64	2,72	-10,61	0,20

		SAF	93,38	211,89	17,97	20,47	27,43	0,62	0,77	0,06	0,860	1,99	0,65	0,59	2,76	-10,98	0,54
		SEM	117,18	241,8	16,30	21,03	28,50	0,55	0,73	0,06	0,857	1,44	0,83	0,65	2,38	-11,24	0,56
Lag	Fev	CML	8,83	22,17	19,33	21,00	25,77	0,80	0,86	0,02	0,896	2,12	0,39	0,20	0,92	-10,38	0,44
		PAD	16,17	35,91	19,33	21,07	26,23	0,81	0,86	0,02	0,881	2,10	0,41	0,18	0,95	-10,57	0,29
		REF	1,83	9,15	18,37	20,97	23,90	0,85	0,88	0,01	0,888	2,09	0,30	0,07	0,55	-10,91	0,49
		RP	10,98	47,15	18,90	21,10	28,50	0,68	0,80	0,02	0,872	2,12	0,61	0,41	1,67	-10,44	0,60
		SAF	29,30	56,15	19,33	21,10	26,03	0,81	0,85	0,01	0,871	2,13	0,42	0,16	0,99	-11,39	0,70
		SEM	26,85	84,12	19,20	21,00	26,37	0,84	0,88	0,01	0,894	2,12	0,37	0,19	1,13	-10,56	0,30
	Maio	CML	1,22	4,47	15,47	18,50	25,67	0,66	0,78	0,04	0,860	1,64	0,51	0,35	1,65	-39,66	20,60
		PAD	5,80	23,09	15,90	18,80	25,40	0,68	0,78	0,05	0,848	1,66	0,51	0,31	1,39	-26,78	11,36
		REF	5,79	21,16	14,13	17,27	28,93	0,47	0,72	0,01	0,866	1,58	0,78	0,64	2,14	-64,57	9,49
		RP	14,95	26,34	15,63	18,50	28,03	0,65	0,79	0,05	0,874	1,58	0,51	0,40	1,90	-51,27	31,88
		SAF	0,61	4,47	15,83	18,43	24,83	0,72	0,84	0,01	0,898	1,62	0,37	0,24	0,99	-23,46	6,63
		SEM	11,59	49,94	15,43	18,43	26,73	0,68	0,79	0,04	0,855	1,60	0,48	0,29	1,57	-38,47	19,86
	Set	CML	51,57	231,52	16,20	20,45	32,30	0,38	0,60	0,04	0,716	NA	NA	NA	NA	-152,46	69,83
		PAD	61,34	303,85	16,80	20,73	31,37	0,43	0,65	0,03	0,778	1,87	1,09	0,73	3,00	-44,43	13,02
		REF	59,20	265,09	16,27	18,73	28,40	0,50	0,68	0,02	0,777	1,81	0,88	0,53	2,09	-59,78	13,79
		RP	125,73	426,43	16,60	20,50	34,95	0,39	0,61	0,04	0,753	1,85	1,27	0,97	3,99	-34,82	6,67
		SAF	36,01	93,79	16,73	20,30	31,10	0,44	0,65	0,02	0,773	1,88	1,04	0,68	3,02	-111,52	11,50
		SEM	144,04	338,64	16,87	20,87	32,07	0,42	0,60	0,01	0,723	1,84	1,21	0,74	3,15	-164,41	100,56
	Nov	CML	37,84	65,30	19,27	22,50	29,50	0,53	0,67	0,01	0,777	1,98	1,01	0,51	2,34	-67,59	41,98
		PAD	26,39	84,12	19,37	22,10	28,83	0,58	0,68	0,03	0,762	2,25	0,97	0,38	1,85	-67,87	29,28
		REF	25,63	55,34	17,40	22,70	31,90	0,47	0,64	0,02	0,750	1,96	1,05	0,66	2,57	-20,81	1,77
		RP	164,18	420,73	19,23	22,90	32,23	0,50	0,68	0,04	0,807	1,96	1,06	0,67	2,56	-55,50	38,52
		SAF	23,19	101,92	19,07	22,70	29,17	0,54	0,66	0,07	0,763	1,96	1,04	0,55	2,38	-69,85	26,21
		SEM	41,20	134,27	19,53	23,37	30,73	0,52	0,65	0,02	0,748	1,98	1,11	0,51	2,27	-140,08	91,40

Legenda: RFA = radiação fotossinteticamente ativa; T(°C) = temperatura do ar; UR (%) = umidade relativa; DPV (kPa) = déficit de pressão de vapor; Potencial (kPa) = potencial de água no solo (disponibilidade hídrica); Edg = Edgardia; Lag = Lageado, Fev = fevereiro; Set = setembro; Nove = novembro; CML = consórcio madeira e lenha; PAD = plantio de alta diversidade; REF = floresta de referência; RP = restauração passiva; SAF = sistema agroflorestal; SEM = semeadura direta; Med= mediana; Máx = valor máximo; Mín = valor mínimo; DP = desvio padrão da média.