

Alberto Carlos de Campos Bernardi  
Alexandre Rossetto Garcia  
José Alberto Bastos Portugal  
José Ricardo Macedo Pezzopane  
*editores técnicos*

# Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Cultivando o Futuro



editora  cubo

**Embrapa**



# **Integração Lavoura-Pecuária-Floresta: Cultivando o Futuro**

Alberto Carlos de Campos Bernardi  
Alexandre Rossetto Garcia  
José Alberto Bastos Portugal  
José Ricardo Macedo Pezzopane  
*Editores Técnicos*

**Editora Cubo**

Rua Conde do Pinhal 1762, Centro  
13560-648 São Carlos, SP  
<https://editoracubo.com.br>

**Responsável pelo conteúdo e editoração**

Embrapa Pecuária Sudeste  
Rod. Washington Luiz, Km 234 - Fazenda Canchim  
13560-970 São Carlos, SP  
<https://www.embrapa.br/pecuaria-sudeste>

**Revisores técnico-científicos**

Alberto Carlos de Campos Bernardi  
André de Faria Pedroso  
Claudia de Mori  
Fábio Ribeiro Pires  
José Ricardo Macedo Pezzopane  
Marco Antonio Sundfeld da Gama  
Sandra Aparecida Santos

**Edição executiva:** Cibele Lourdes dos Santos Pereira

**Projeto gráfico e capa:** Larissa Orlandi

**Foto de capa:** Gisele Rosso

**Revisão de texto:** Agnaldo Alves

**Normalização bibliográfica:** Luiza Tofoli dos Santos

**Diagramação:** Cibele Lourdes dos Santos Pereira

**Ilustrações:** Douglas Rejowski e Cibele Lourdes dos Santos Pereira

**Colaboração:** Aisten Baldan e Maria Cristina Campanelli Brito

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)**

Integração lavoura-pecuária-floresta : cultivando o futuro [livro eletrônico] /

editores técnicos Alberto Carlos de Campos Bernardi,  
Alexandre Rossetto Garcia, José Alberto Bastos Portugal,  
José Ricardo Macedo Pezzopane. --

1. ed. -- São Carlos, SP : Cubo Multimídia,  
PDF

Vários autores.

Bibliografia.

ISBN 978-65-86819-42-7

1. Agricultura - Aspectos ambientais 2. Florestas 3. Lavoura 4. Meio ambiente -  
Aspectos econômicos 5. Pecuária - Brasil  
6. Saúde ambiental 7. Sustentabilidade  
I. Bernardi, Alberto Carlos de Campos. II. Garcia, Alexandre Rossetto. III. Portugal,  
José Alberto Bastos. IV. Pezzopane, José Ricardo Macedo.

26-356103.0

CDD-304.2

**Índices para catálogo sistemático:**

1. Agricultura e meio ambiente : Ecologia 304.2

Livia Dias Vaz - Bibliotecária - CRB-8/9638

<https://doi.org/10.4322/9786586819427>

**Realização**

editora  cubo  
soluções para o universo acadêmico

**Embrapa**

**Apoio**

 **JOHN DEERE**

 **redeLUPF**

**syngenta**

Parte de figuras foram obtidas a partir do banco de imagens *Magnific*, mediante licenciamento.

As opiniões, conceitos, afirmações e conteúdo desta publicação são de exclusiva e de inteira responsabilidade dos autores.

© Todos os direitos reservados aos Editores.



Este é um livro publicado em acesso aberto (*Open Access*) sob a licença *Creative Commons Attribution* (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

# Autores

## **Adilson Márcio Malagutti**

Engenheiro Agrônomo, Mestre em Ciência Animal e Pastagens,  
Analista da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

## **Alberto Carlos de Campos Bernardi**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia (Solos e Nutrição de Plantas),  
Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

## **Alda Juliana Castro de Sousa**

Zootecnista, Mestre em Ciência Animal, Doutoranda (Ciência Animal) na  
Faculdade de Ciências Agronômicas da Universidade Estadual Paulista  
“Júlio de Mesquita Filho” (FCA/UNESP), Botucatu/SP.

## **Alex Calderaro Peruchi**

Engenheiro Agrônomo, Mestrando (Zootecnia) na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de  
Alimentos da Universidade de São Paulo (FZEA/USP), Pirassununga/SP.

## **Alexandre Berndt**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Ecologia de Agroecossistemas),  
Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

## **Alexandre Rossetto Garcia**

Médico Veterinário, Doutor (Reprodução Animal),  
Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

## **Amanda Hernandes**

Engenheira Agrônoma, Doutora (Agronomia- Produção Vegetal),  
Especialista Agropecuário, Ribeirão Preto/SP.

## **Amanda Maria Tadini**

Química Ambiental, Doutora (Química Analítica e Inorgânica),  
Professora da Sorbonne Université, Paris, França.

## **André de Faria Pedroso**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Ciência Animal e Pastagens),  
Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

## **André Luiz Monteiro Novo**

Engenheiro agrônomo, Doutor (Sistemas de Produção),  
Analista da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Andreza Pereira da Silva Cruz**

Engenheira Agrônoma, Especialista em Integração Lavoura-Pecuária-Floresta,  
Coordenadora de projetos da Associação Rede ILPF, São Paulo/SP.

**Angélica Maria Penteadó Dias**

Licenciada em História Natural, Doutora (Zoologia),  
Professora Titular da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos/SP.

**Carlos Henrique de Paula e Silva**

Engenheiro Agrônomo, Especialista Agropecuário da Coordenadoria de Assistência Técnica  
Integral da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (CATI/SAA),  
Jardinópolis/SP.

**Carolina Reigada Montoya**

Bióloga, Doutora (Ciências Biológicas — Zoologia),  
Professora da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos/SP.

**Cristiam Bosi**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Engenharia de Sistemas Agrícolas),  
Engenheiro Agrônomo da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Paranavaí/PR.

**Cristiane Vieira Peres Fragalle**

Relações Públicas, Mestre (Engenharia de Produção),  
Analista da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Danilo Serra da Rocha**

Engenheiro Cartógrafo, Mestre (Agricultura de Precisão),  
Analista da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Domingos Sávio Campos Paciullo**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Zootecnia),  
Pesquisador da Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora/MG.

**Edilson da Silva Guimarães**

Analista de Sistemas, Mestre (Ciências-Desenvolvimento de Software),  
Analista da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Emerson Borghi**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Agronomia (Agricultura),  
Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Estella Rosseto Januszkiewicz**

Zootecnista, Doutora em Zootecnia (Forragicultura e Manejo de Pastagens),  
Assistente Técnica da Rede ILPF, São Paulo/SP.

**George Gardner Brown**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Ciência do Solo),  
Pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo/PR.

**Giovanna Galhardo Ramos**

Médica Veterinária, Mestre (Reprodução Animal), Doutoranda (Reprodução Animal)  
na Universidade Federal do Pará (UFPA), Castanhal/PA.

**Gisele Rosso**

Jornalista, Mestre em Comunicação Pública,  
Analista da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Gustavo Pereira Valani**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Solos e Nutrição de Plantas),  
Pesquisador da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna/SP.

**Gustavo Verruma Bernardi**

Engenheiro Agrônomo, Mestrando (Ecologia Aplicada), no Centro de Energia Nuclear na Agricultura, e Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (CENA/ESALQ/USP), Piracicaba/SP.

**Hélio de Sena Gouvêa Omote**

Médico Veterinário, especialista em Agronegócios,  
Analista da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Henrique Antunes de Souza**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas),  
Pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina/PI.

**Henrique Bauab Brunetti**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciências (Ciência Animal e Pastagens),  
Pesquisador da Embrapa Caprinos e Ovinos, Sobral/CE.

**Hildo Meirelles de Souza Filho**

Economista, Doutor (Economia Rural),  
Professor da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos/SP.

**João Brunelli Júnior**

Engenheiro Agrônomo, Diretor de Assistência Técnica Integral da  
Coordenadoria de Assistência Técnica Integral da Secretaria de Agricultura e  
Abastecimento do Estado de São Paulo (CATI/SAA), Campinas/SP.

**Joedson Dantas Gonçalves**

Médico Veterinário, Doutor (Ciências Veterinárias),  
Pós-Doutorando na Embrapa Pecuária Sudeste (São Carlos/SP).

**Jorge Lulu, Engenheiro Agrícola**

Doutor (Física do Ambiente Agrícola),  
Pesquisador da Embrapa Territorial, Campinas/SP.

**José Alberto Bastos Portugal**

Biólogo, Doutor (Ciência e Tecnologia de Alimentos),  
Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**José Otávio de Almeida Bueno**

Gestor e Analista Ambiental, Doutorando (Ciências da Engenharia Ambiental) na Escola de  
Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP), São Carlos/SP.

**José Ricardo Macedo Pezzopane**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Agrometeorologia),  
Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Juliana Priscila Sussai**

Relações Públicas, Especialista em Comunicação Organizacional,  
Analista da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Ladislau Martin Neto**

Físico, Doutor (Física Aplicada), Pesquisador da Embrapa Instrumentação, São Carlos/SP.

**Larissa Aparecida Lopes de Souza**

Engenheira de Produção, Doutoranda (Modelagem de Sistemas Produtivos e Logísticos) na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos/SP.

**Larissa Gui Pagliuca**

Engenheira Agrônoma, Doutoranda (Economia Aplicada) na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos/SP.

**Laysa Fontes Moura**

Zootecnista, Mestranda em Zootecnia (Nutrição e Produção Animal) na Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FCA/UNESP), Botucatu/SP.

**Leticia Caroline da Silva David**

Bacharel em Estatística, Doutoranda (Engenharia de Produção) na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos/SP.

**Lilianne dos Santos Maia Bruz**

Engenheira Agrônoma, Doutora (Ciências do Solo), Bolsista Técnico II na Embrapa Florestas, Colombo/PR.

**Lívia Ferreira Pinho**

Engenheira Agrônoma, Doutora (Produção Animal), Universidade Federal do Pará (UFPA), Castanhal/PA.

**Lucas Fillietaz Balcão**

Zootecnista, Doutor (Ciência Animal e Pastagens), Coordenador na Phibro Saúde Animal Brasil, Guarulhos/SP.

**Luiz Adriano Maia Cordeiro**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Fitotecnia), Pesquisador da Embrapa Cerrados, Planaltina/DF.

**Luiza Campos Giglio**

Gestora e Analista Ambiental, Mestranda (Ciências Ambientais) na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) São Carlos/SP.

**Marcela de Mello Brandão Vinholis**

Engenheira Agrônoma, Doutora (Engenharia de Produção), Pesquisadora da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Marcelo José Carrer**

Economista, Doutor (Engenharia de Produção), Professor da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos/SP.

**Márcia Cristina de Sena Oliveira**

Médica Veterinária, Doutora (Medicina veterinária preventiva), Pesquisadora aposentada da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Marcos Rafael Gusmão**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Entomologia), Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Maria Luiza Franceschi Nicodemo**

Zootecnista, Doutora (Agricultura), Pesquisadora aposentada da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Marie Luise Carolina Bartz**

Bióloga, Doutora em Agronomia (Solos), Professora Visitante na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Curitiba/SC.

**Marina Justi**

Engenheira Agrônoma, Doutora (Ciência do Solo), Pós-doutoranda na Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Martha Regina Lucizano Garcia**

Bióloga, Doutora (Microbiologia Agropecuária), Chefe de Serviço - Serviço de Treinamento da Diretoria de Assistência Técnica Integral da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral da Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (CATI/SAA), Campina/SP.

**Matheus Alves de Siqueira**

Biólogo, Doutor em Ciências (Ecologia e Recursos Naturais), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos/SP.

**Maurel Behling**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Solos e Nutrição de Plantas), Pesquisador da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop/MT.

**Patrícia Menezes Santos**

Engenheira Agrônoma, Doutora (Agronomia), Pesquisadora da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Patrícia Perondi Anção Oliveira**

Engenheira Agrônoma, Doutora (Ciências), Pesquisadora da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Paulo Henrique Mazza Rodrigues**

Médico Veterinário, Doutor (Nutrição Animal), Professor Associado da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (FMVZ/USP), Pirassununga/SP.

**Pedro Henrique de Godoy Fernandes**

Engenheiro Florestal, Doutor (Ciências Ambientais), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos/SP.

**Priscila de Oliveira**

Engenheira Agrônoma, Doutora (Fitotecnia), Pesquisadora da Embrapa Meio Ambiente, Jaguariúna/SP.

**Renato Serena Fontaneli**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Sistemas de Produção), Pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo/RS.

**Roberto Giolo de Almeida**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Zootecnia), Pesquisador da Embrapa Gado de Corte, Campo Grande/MS.

**Rodrigo Damasceno**

Bacharel em Ciências Econômicas, Mestre (Engenharia de Produção), Pesquisador da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), São Carlos/SP.

**Rolando Pasquini Neto**

Médico Veterinário, Mestre (Ciência Animal), Doutorando (Nutrição e Produção Animal) na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (FMVZ/USP), Pirassununga/SP.

**Salete Alves de Moraes**

Zootecnista, Doutora (Ciência Animal), Pesquisadora da Embrapa Semiárido, Petrolina/PE.

**Sandra Aparecida Santos**

Zootecnista, Doutora (Produção Animal),  
Pesquisadora da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Sérgio Novita Esteves**

Médico Veterinário, Doutor (Ciências da Alimentação),  
Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Sergio Raposo de Medeiros**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Ciência Animal e Pastagem),  
Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Tadário Kamel de Oliveira**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Engenharia Florestal),  
Pesquisador da Embrapa Acre, Rio Branco/AC.

**Teresa Cristina Alves**

Médica Veterinária, Doutora (Qualidade e Produtividade Animal),  
Pesquisadora da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Thaís Alves de Carvalho**

Tecnóloga em Processos Químicos, Mestre (Agricultura Tropical e Subtropical),  
Doutoranda (Zootecnia) na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos  
da Universidade de São Paulo (FZEA/USP), Pirassununga/SP.

**Thiago Libório Romanelli**

Engenheiro Agrônomo, Doutor (Pegadas ambientais),  
Professor Titular na Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz” (Esalq/USP),  
Piracicaba/SP.

**Waldomiro Barioni Júnior**

Bacharel em Estatística, Mestre em Agronomia (Estatística e Experimentação Agronômica),  
Pesquisador da Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos/SP.

**Wanderlei Bieluczyk**

Engenheiro Agrônomo, Doutor em Ciências (Energia Nuclear na Agricultura),  
Agente de Pesquisa na Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural  
de Santa Catarina (Epagri), Florianópolis/SC

**Wilfredo Manuel Rios Rado**

Engenheiro Zootecnista, Mestrando (Zootecnia) na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de  
Alimentos da Universidade de São Paulo (FZEA/USP), Pirassununga/SP.

# Microclima

José Ricardo Macedo Pezzopane, Cristiam Bosi, Henrique Bauab Brunetti,  
Rolando Pasquini Neto, Alexandre Rossetto Garcia, Jorge Lulu,  
Alberto Carlos de Campos Bernardi



**RESUMO:** Em decorrência das modificações ambientais promovidas pelos sistemas integrados de produção pecuária, especialmente pela presença do componente arbóreo, as interações microclimáticas têm sido objeto de investigação nos experimentos conduzidos pela Embrapa Pecuária Sudeste. Considerando a característica de cobertura descontínua das árvores dispostas em renques nesses sistemas, o monitoramento microclimático tem sido realizado ao longo de transectos perpendiculares às linhas de plantio. Elementos meteorológicos como radiação solar, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, temperatura de globo negro, além da umidade do solo, foram monitorados de forma contínua em diferentes fases de manejo dos experimentos, por meio de sensores acoplados a registradores automáticos de dados. A transmissão da radiação fotossinteticamente ativa variou entre 91,6% a 36,4% no sistema silvipastoril com árvores nativas e entre 74,9% a 51,9% no sistema silvipastoril com eucalipto, em função do crescimento das árvores e desbastes realizados nos sistemas. A análise das interações microclimáticas ao longo dos anos possibilitou quantificar os efeitos das alterações ambientais sobre a produção de forragem e de culturas agrícolas, o conforto térmico animal, processos biológicos do solo e a abundância de macrofauna edáfica. Além disso, os resultados subsidiaram recomendações de manejo do componente arbóreo com vistas à maximização da produção de forragem em sistemas silvipastoris, com a determinação de  $8 \text{ m}^2 \text{ ha}^{-1}$  de área basal das árvores como indicador de manejo de desbaste. Este capítulo apresenta os principais resultados obtidos a partir dessas pesquisas.

**Palavras-chave:** Radiação Solar; Mudança Climática; Competição; Manejo; Conforto Térmico Animal; Agrometeorologia.

**ABSTRACT:** Due to the environmental modifications inherent to integrated livestock production systems, particularly the presence of the tree component, microclimatic interactions have become a primary focus of investigations conducted by Embrapa Pecuária Sudeste. Given the discontinuous canopy coverage characteristic of trees arranged in rows within these systems, microclimatic monitoring has been executed along transects perpendicular to the planting lines. Meteorological elements, including solar radiation, wind speed, air temperature, relative humidity, black globe temperature, and soil moisture, were continuously monitored across the different management phases of the experiments using sensors coupled to automatic data loggers. The transmission of Photosynthetically Active Radiation (PAR) ranged from 91.6% to 36.4% in the silvopastoral system featuring native trees and from 74.9% to 51.9% in the silvopastoral system utilizing eucalyptus, with variations attributed to tree growth and thinning intensity. Analysis of these microclimatic interactions over the years enabled quantification of the effects of environmental change on forage and agricultural crop production, animal thermal comfort, soil biological processes, and the abundance of edaphic macrofauna. Furthermore, the findings substantiated recommendations for tree management aimed at maximizing forage production in silvopastoral systems, with 8m<sup>2</sup> ha<sup>-1</sup> of tree basal area identified as a key indicator for thinning management decisions. This chapter presents the principal outcomes derived from this research.

**Keywords:** Solar Radiation; Climate Change; Competition; Management; Animal Thermal Comfort; Agrometeorology.

## 5.1 INTRODUÇÃO

A pecuária voltada para a produção de gado de corte e leite no Brasil é majoritariamente desenvolvida em áreas de pastagens, configurando uma atividade econômica de grande relevância para o país (Associação Brasileira das Indústrias Exportadoras de Carne, 2024). Devido às variações climáticas entre as distintas regiões produtoras, o clima representa fator determinante para a produtividade animal, influenciando tanto o crescimento das forragens quanto o desempenho zootécnico dos rebanhos (Joele et al., 2016; Barbero, et al., 2021). Nesse contexto, os sistemas silvipastoris (SSPs), que integram árvores ao componente forrageiro, despontam como alternativas promissoras diante dos desafios impostos pelas mudanças climáticas.

Os SSPs podem ser estruturados com distintas combinações de espécies arbóreas, nativas ou exóticas, em variados arranjos espaciais e densidades de plantio, oferecendo uma ampla gama de possibilidades de desenho. A configuração adotada influencia diretamente o microclima local, principalmente por meio da modulação da transmissão da radiação solar pelas copas das árvores. Associado ao efeito de quebra-vento, a redução da transmissão da radiação solar promove alterações nos padrões do balanço de energia, alterando os fluxos de calor latente e sensível no ambiente (Brenner, 1996). A magnitude dessas alterações é impactada diretamente em função das características da cobertura, sendo a variabilidade espacial dessas modificações um aspecto relevante, condicionada tanto pela hora do dia quanto pela estação do

ano (Silva-Pando et al., 2002; Baliscei et al., 2013; Silva; Maia, 2013; Garcia et al., 2023).

As mudanças microclimáticas promovidas pelos SSPs resultam em alterações nos padrões de produção e no valor nutritivo das pastagens, além de proporcionarem benefícios aos animais, como a melhoria do conforto térmico (Giro et al., 2019). O planejamento e o manejo adequados desses sistemas devem, portanto, buscar sinergias decorrentes da presença do componente arbóreo, com o objetivo de maximizar os benefícios e minimizar possíveis efeitos negativos, como a competição por recursos entre árvores e pastagens.

A quantificação das alterações nas condições microclimáticas e seus efeitos sobre o potencial produtivo das forragens e o desempenho dos animais tem sido objeto de estudos científicos nas últimas décadas, especialmente em regiões tropicais. O conhecimento dessas interações é essencial para que práticas de manejo voltadas à intensificação sustentável e à conservação ambiental possam ser recomendadas com segurança e eficácia aos produtores rurais.

Considerando esse cenário, as pesquisas da Embrapa Pecuária Sudeste conduzidas nos experimentos de longa duração (ILPF-corte, ILPF-Leite e SSP-Nativas) têm como objetivo quantificar alterações microclimáticas e hídricas no solo dos sistemas de produção pecuária que incorporam o componente arbóreo. O conhecimento das interações que ocorrem no ambiente permitiu inferir sobre o efeito do componente arbóreo na produção de forragem e culturas anuais (Pezzopane et al., 2019a, 2020), no conforto térmico e

bem-estar animal (Pezzopane et al., 2019b; Giro et al., 2019; Lemes, et al., 2021; Romanello et al., 2023), na ocorrência de macrofauna do solo e parasitas bovinos (Oliveira et al., 2017, Gusmão et al., 2020; Bruz et al., 2023) e nas características de degradação e qualidade da matéria orgânica do solo (Bieluczyk et al., 2020; Bessi et al., 2024). Os resultados apresentados neste capítulo visam subsidiar o aprimoramento do planejamento e do manejo desses sistemas silvopastoris.

## 5.2 MEDIDAS MICROCLIMÁTICAS

### 5.2.1 Protocolos de medição

A caracterização microclimática nos experimentos de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) da Embrapa Pecuária Sudeste tem sido realizada de maneira contínua, com o uso de sensores acoplados a registradores automáticos de dados, permitindo a análise espaço-temporal do microclima em função das mudanças sazonais e da evolução interanual dos sistemas. A Figura 5.1 apresenta imagens das estações meteorológicas utilizadas, com sensores de temperatura e umidade relativa do ar (termo-higrômetros

HC2-S3; Rotronic, Bassersdorf, Switzerland), velocidade do vento (anemômetros ultrassônicos bidirecionais Windsonic; Gill Instruments, Lymington, UK), temperatura do globo negro (termopares de cobre constantan SALCAS, Brasil) e radiômetros (quantômetros Apogee, Logan, UT, USA) no sistema de produção a pleno sol (Figura 5.1A), sistema ILPF-corte (Figura 5.1B), sistema ILPF-Leite (Figura 5.1C) e sistema SSP-Nativas (Figura 5.1D), com detalhes do acoplamento dos sensores nos registradores automáticos de dados (CR1000 e CR3000, Campbell, USA) (Figuras 5.1A e 5.1C). O monitoramento da umidade do solo foi realizado com sonda capacitiva (Diviner 2000, Sentek Pty Ltd., Stepney, SA, Austrália), até 1 metro de profundidade, com leituras a cada 10 centímetros.

Nos sistemas de produção que incluem o componente arbóreo (SSP-Nativas, ILPF-corte e ILPF-Leite; ver detalhes no Capítulo 3), as árvores estão dispostas em renques, com linhas simples ou triplas. Nesses casos, os sensores meteorológicos foram posicionados em linhas transversais (transectos) ao renque de árvores, com pelo menos um ponto de medição sob a copa e outro no centro do entre-renque. Em diversos projetos, especialmente para sensores que quantificam a inci-

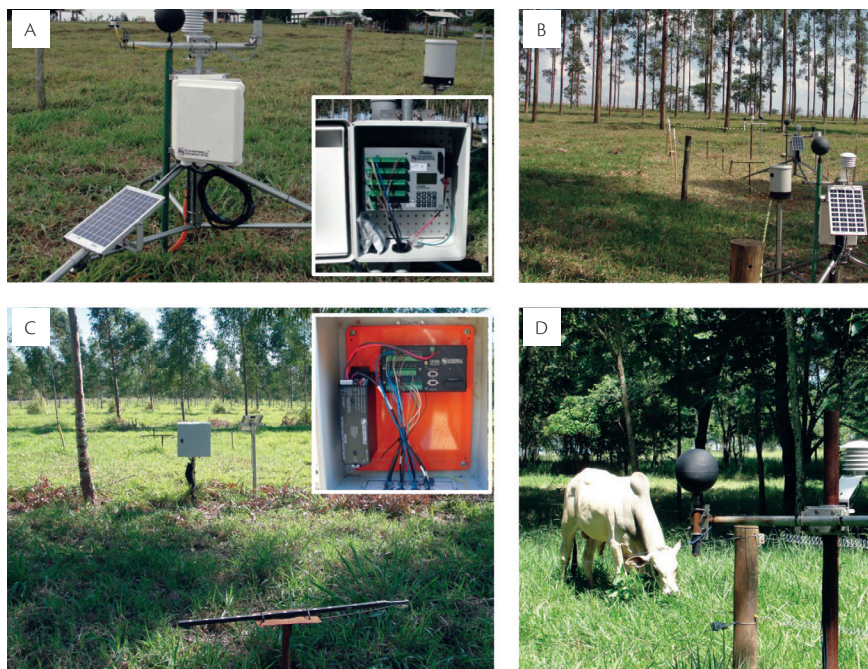


Foto: José Ricardo Macêdo Pezzopane

**Figura 5.1.** Imagens de estações meteorológicas instaladas em pastagem a pleno sol (A); e nos sistemas integração lavoura-pecuária-floresta-corte (ILPF-Corte) (B); integração lavoura-pecuária-floresta-leite (ILPF-Leite) (C); e SSP-Nativas (D) na Embrapa Pecuária Sudeste, São Carlos-SP.

dência de radiação solar e para a determinação do teor de água no solo, as medições são realizadas em mais pontos equidistantes entre dois renques de árvores, com o objetivo de caracterizar a variabilidade espacial dos elementos microclimáticos (Pezzopane et al., 2015; Bosi et al., 2020a).

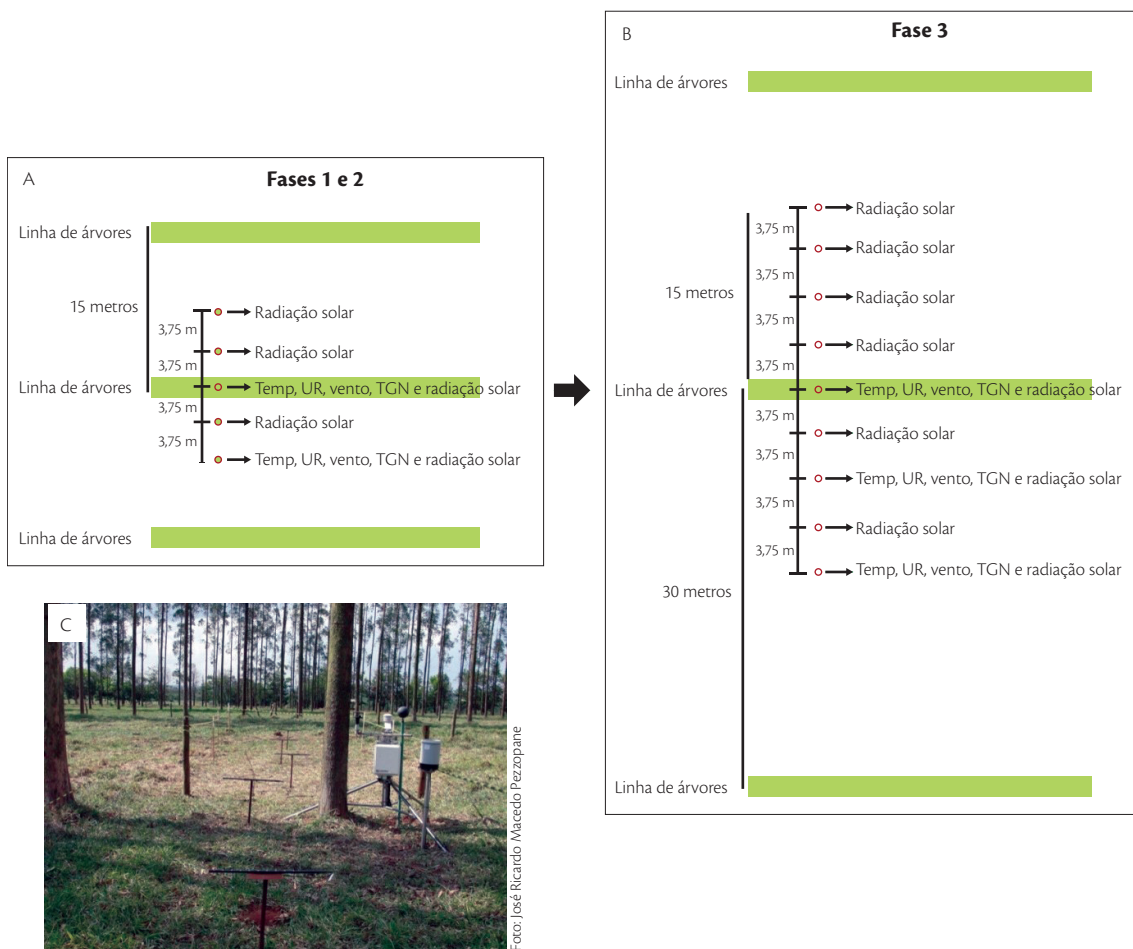
A Figura 5.2 apresenta um croqui desse padrão de medição. No sistema ILPF-corte, por exemplo, nas Fases 1 e 2 (ver Capítulo 3), o espaçamento entre as linhas de árvores era de 15 metros. Com a realização do segundo desbaste e o início da Fase 3 do experimento, o espaçamento passou para 30 metros, o que exigiu a readequação do padrão de instalação dos transectos de medição.

Além das medidas com sensores instalados em estações meteorológicas, a caracterização microcli-

mática dos sistemas, especialmente a temperatura de superfície, também pôde ser realizada por sensoria-mento remoto. Nas áreas experimentais da Embrapa Pecuária Sudeste, foram desenvolvidas pesquisas para a determinação da temperatura de superfície com o uso de sensores de infravermelho embarcados em aeronaves pilotadas ou através de imagens de satélites (Garcia et al., 2023, Pezzopane et al., 2023) (ver Capítulo 15).

### 5.2.2 Caracterização microclimática: SSP-Nativas

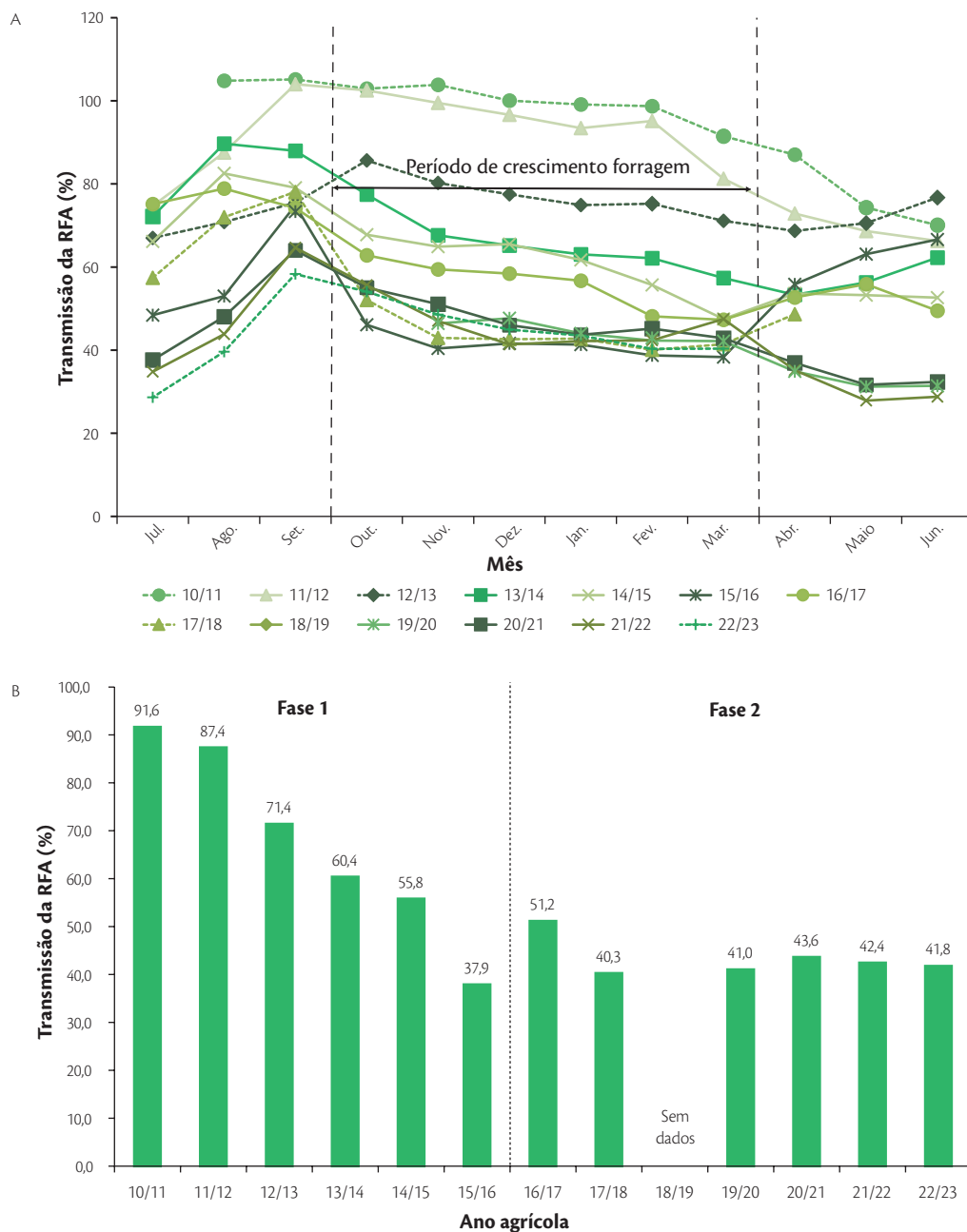
Durante 14 anos (entre 2010 e 2023), as medições microclimáticas foram realizadas no experimento SSP-Nativas, com resultados parciais dessa caracterização apresentados por Bosi et al. (2014), Pezzopane et al. (2015), Oliveira et al. (2017) e Pasquini Neto et al. (2024).



**Figura 5.2.** Croqui de instalação de sensores para o monitoramento microclimático no experimento integração lavoura-pecuária-floresta-corte (ILPF-Corte) nas Fases 1 e 2 (A) e na Fase 3 (B), com foto no detalhe, em São Carlos-SP (C).

Na Figura 5.3 é apresentada a dinâmica da transmissão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no experimento SSP-Nativas entre os anos de 2010 e 2023. A variação estacional da transmissão foi influenciada pelo desenvolvimento das árvores e pelos desbastes realizados no sistema. Em função da orientação das linhas de árvores (Nordeste-Sudoeste), o padrão de

transmissão não apresentou grandes variações ao longo do ano, com maiores transmissões nos meses de setembro e outubro em função do hábito caducifólio das espécies arbóreas, fazendo com que o final do inverno seja o período com menor quantidade de folhas nas árvores (Figura 5.3A). Na Fase 1, antes do desbaste, a transmissão da RFA variou de 91,6% (2010/2011) a



**Figura 5.3.** Variação mensal da transmissão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (A) e valor médio da transmissão no período compreendido entre outubro e março (B) dos anos agrícolas de 2010/2011 a 2022/2023 no experimento SSP-Nativas em São Carlos-SP.

36,4% (2015/2016). Após o desbaste, ocorreu aumento da transmissão para 51,2%, que foi diminuindo gradativamente até o último ano de medição, em 2022/2023, com 41,8% da transmissão da RFA (Figura 5.3B).

A presença das árvores também impactou em outros elementos meteorológicos, como a incidência de ventos, temperatura do ar e umidade. O efeito quebra-vento no sistema reduziu em média 59% da velocidade do vento no SSP-Nativas em comparação ao sistema a pleno sol (Figura 5.4A). Os efeitos também foram verificados na temperatura do ar (Figura 5.4B) e na temperatura de globo negro (Figura 5.4D), com redução média de 0,8 °C e 2,9 °C nos valores mensais, respectivamente. Essa redução na temperatura proporcionou menores valores de déficit de pressão de vapor (DPV) no sistema, com redução de 12% nos valores mensais.

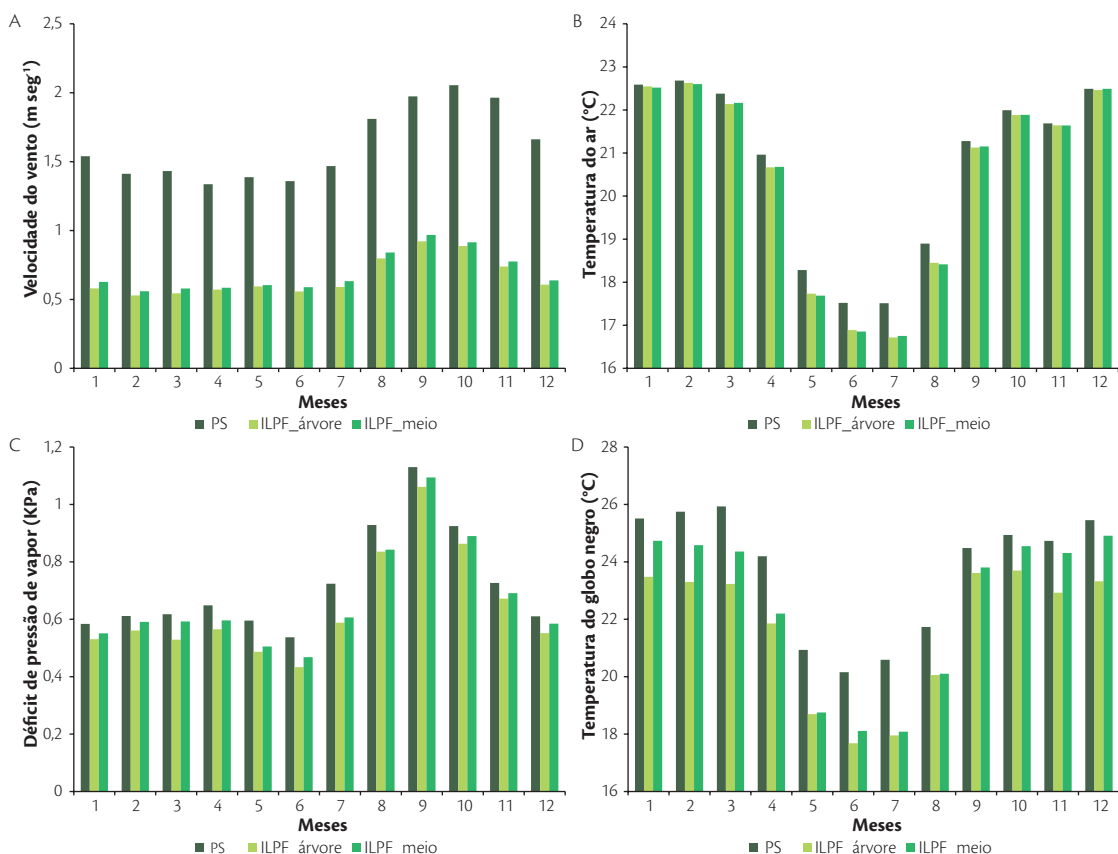
Em função da característica descontínua da cobertura proporcionada pelas árvores no sistema, resultado do arranjo das árvores em renques, o ponto de medição

sob a copa das árvores promoveu maiores diferenças microclimáticas ao sistema a pleno sol em comparação ao ponto de medição no meio do entreterrenque de árvores.

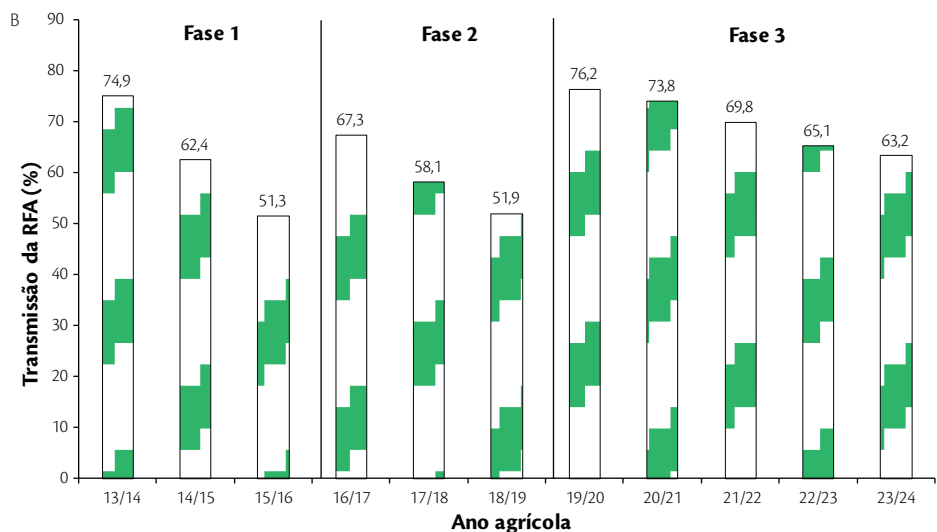
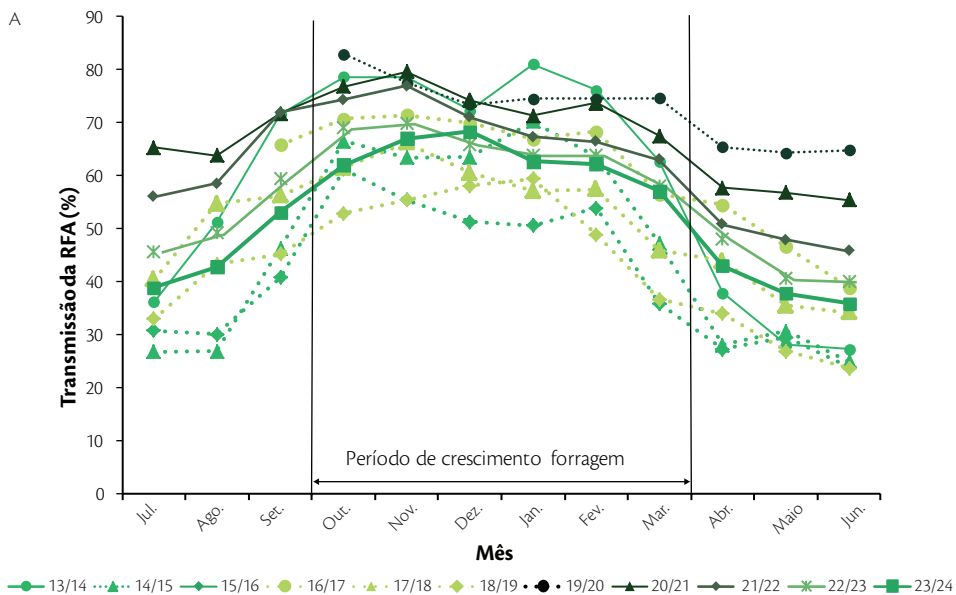
### 5.2.3 Caracterização microclimática: integração lavoura-pecuária-floresta-corte

Durante o período de 2013 a 2024, a caracterização microclimática foi realizada no experimento ILPF-Corte, com resultados parciais apresentados por Bosi et al. (2020a), Pezzopane et al. (2021, 2024a) e Brunetti et al. (2025).

A Figura 5.5 apresenta a dinâmica da transmissão da RFA no experimento ILPF-Corte no período entre 2013 e 2024. A variação estacional da transmissão foi influenciada pela época do ano, pelo desenvolvimento das árvores e pelos desbastes realizados no sistema. Em função da orientação das linhas de árvores (Leste-Oeste), os maiores valores de transmissão ocorreram



**Figura 5.4.** Variação mensal da velocidade do vento (A); da temperatura do ar (B); da temperatura do globo negro (C); e do déficit de pressão de vapor (D) na pastagem a pleno sol e em dois pontos (sob a copa e no meio do entreterrenque) no sistema integração lavoura-pecuária-floresta-corte (ILPF-Corte) entre 2014 e 2024 em São Carlos-SP.

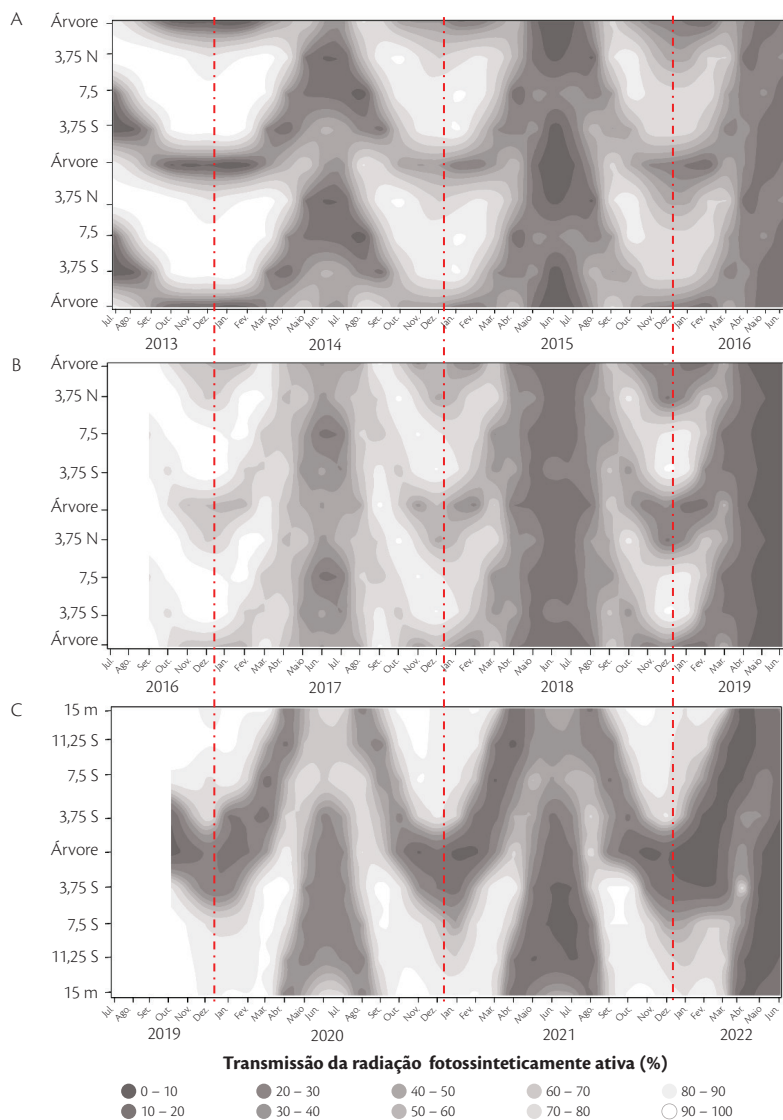


**Figura 5.5.** Variação mensal da transmissão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) (A) e valor médio da transmissão da RFA (B) no período compreendido entre outubro e março dos anos agrícolas de 2013/2014 a 2023/2024 no experimento integração lavoura-pecuária-floresta-corte (ILPF-Corte) em São Carlos-SP.

na primavera e no verão. No período de crescimento mais significativo da pastagem (outubro a março), as transmissões médias anuais variaram de 74,9% a 51,3% na Fase 1, de 67,3% a 51,9% na Fase 2 e de 76,2% a 63,2% na Fase 3, evidenciando o efeito do desbaste na transmissão da RFA, especialmente da Fase 2 para a Fase 3, quando o espaçamento entre linhas de árvores no sistema passou de 15 metros para 30 metros.

Devido ao arranjo das árvores em linhas no sistema silvipastoril, ocorreu uma variabilidade

espaço-temporal da transmissão da RFA (Figura 5.6) (Pezzoane et al., 2024a). Nas estações de primavera e verão, as menores transmissões ocorreram próximo ao renque das árvores, enquanto nas estações de outono e inverno, as menores transmissões de RFA ocorreram na maior parte do sistema silvipastoril, em função da orientação das linhas de árvores (Leste-Oeste) e do movimento aparente do sol. Após os desbastes ocorridos em 2016 (Fase 1 para Fase 2) e 2019 (Fase 2 para Fase 3), ocorreu um aumento na transmissão da RFA,



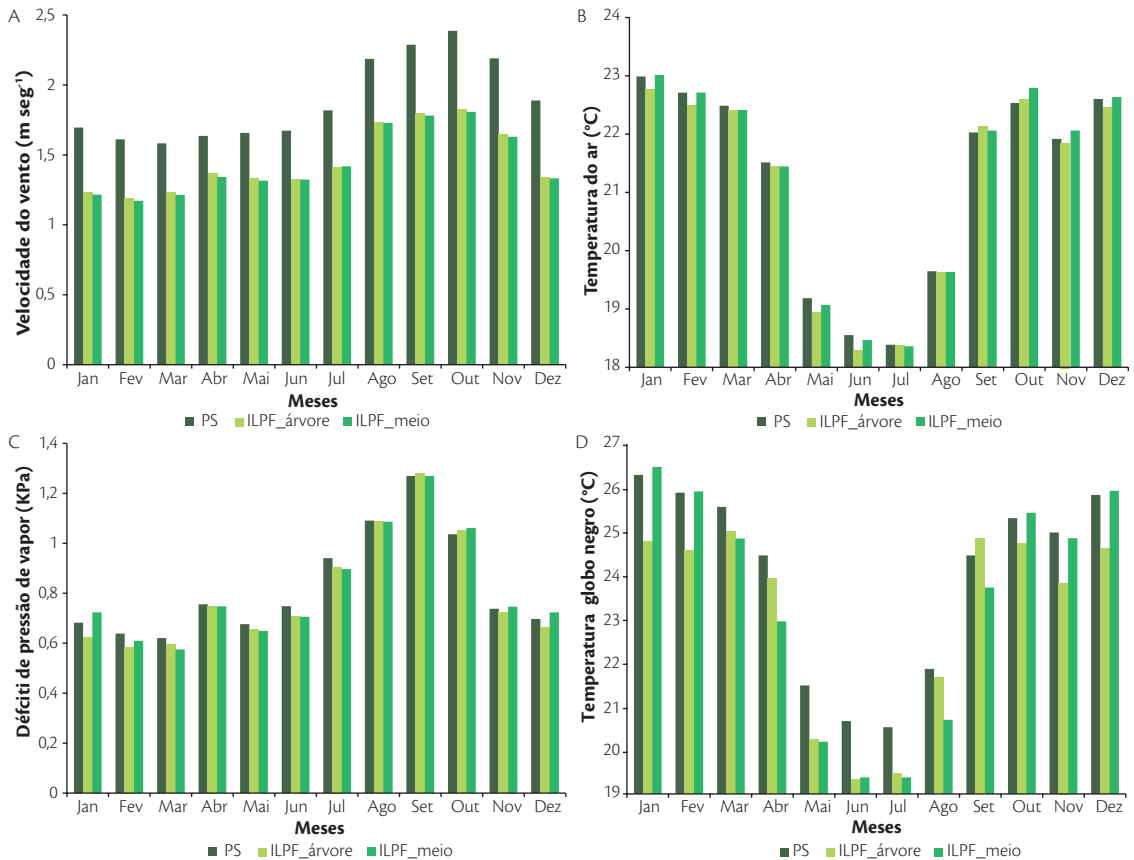
**Figura 5.6.** Variabilidade espaço-temporal da transmissão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no experimento integração lavoura-pecuária-floresta-corte (ILPF-Corte), durante os períodos de 2013 a 2016 (A); 2016 a 2019 (B); e 2019 a 2022 (C). Interpolação feita pelo método do vizinho mais próximo.

Fonte: Pezzopane et al. (2024a).

com ênfase para as estações de primavera e verão. Nas Fases 2 (Figura 5.6B) e 3 (Figura 5.6C), assim como já tinha ocorrido na Fase 1 (Figura 5.6A), foi verificada redução progressiva na transmissão da RFA com o passar dos anos (Figura 5.5).

Assim como no experimento SSP-Nativas, também foram observadas alterações em outros elementos meteorológicos, com redução na incidência dos ventos de 22% em média (Figura 5.7A). O valor obtido da redução, que levou em consideração os valores após

desbastes, foi menor que o encontrado por Bosi et al. (2020a), que alcançou valores próximos a 50% na Fase 1 do sistema. Para a temperatura do ar (Figura 5.7B) e a temperatura de globo negro (Figura 5.7D), as reduções médias mensais foram de 0,1 °C e 0,8 °C, respectivamente. A combinação da redução da transmissão da RFA e da temperatura proporcionou reduções no déficit de pressão de vapor (DPV) de 3,3% nos valores médios mensais, atingindo em alguns meses 9% de redução (Figura 5.7C).



**Figura 5.7.** Variação mensal da velocidade do vento (A); da temperatura do ar (B); da temperatura do globo negro (C); e do déficit de pressão de vapor (D) na pastagem a pleno sol (PS) e em dois pontos (sob a copa, ILPF\_árvore e no meio do entrecenque, ILPF\_meio) no sistema integração lavoura-pecuária-floresta-corte (ILPF-Corte) entre 2014 e 2024 em São Carlos-SP.

### 5.2.4 Índices de conforto térmico animal

No ambiente tropical, os cenários de mudanças climáticas representam desafios à produção pecuária. A ocorrência de ondas de calor, que acarretam aumentos na frequência e nos valores de temperaturas elevadas (Marengo et al., 2009), pode prejudicar o metabolismo, o comportamento e, em última análise, o desempenho dos animais. Nesse sentido, SSPs têm sido apontados como estratégias de adaptação a esses desafios (Silva et al., 2011; Lemes et al., 2021).

A relação entre as características do ambiente de conforto animal é expressa por meio de índices que podem quantificar o quão o ambiente está adequado para o bem-estar animal. Dentre diversos indicadores de interesse, índices como a carga térmica radiante (CTR) (Esmay, 1978) e o índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) (Buffington et al., 1981) têm sido utilizados para esse fim. Ambos os índices utilizam em seu modelo a temperatura do globo negro,

combinando, de forma direta ou indireta, os efeitos da temperatura do ar, radiação solar e velocidade do vento sobre os animais (Kelly; Bond, 1971).

Os índices ITGU e CTR são gerados a partir de quantificações dos elementos meteorológicos. O ITGU é calculado a partir da Equação 5.1:

$$ITGU = tgn + 0,36t_{po} + 41,5 \quad (5.1)$$

em que  $tgn$  é a temperatura de globo negro (°C), e  $t_{po}$  é a temperatura do ponto de orvalho (°C).

A carga térmica radiante (CTR) é calculada a partir das Equações 5.2 e 5.3:

$$CTR = \sigma \cdot (MRT^4) \quad (5.2)$$

$$MRT = 100 \sqrt[4]{2,51 \cdot t_a^{0,5} \cdot ((tgn + 273) - (temp + 273)) + \frac{(tgn + 273)^4}{100}} \quad (5.3)$$

Em que  $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann,  $5,67 \cdot 10^{-8}$  ( $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$ ); MRT é a temperatura média radiante

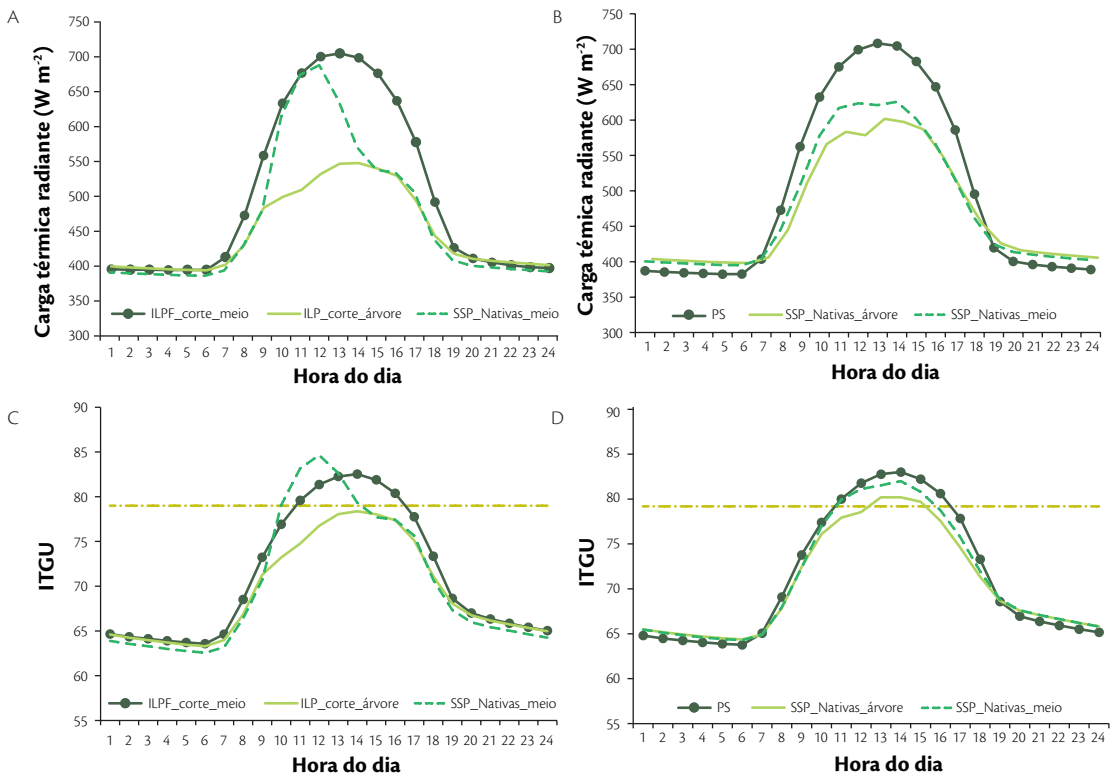
(K);  $u$  é a velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) e  $temp$  é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Nas áreas experimentais da Embrapa Pecuária Sudeste, a partir das medições microclimáticas (item 5.2.1), os índices de conforto térmico animal têm sido caracterizados nos sistemas de produção visando verificar sua relação com parâmetros obtidos nos animais conduzidos nesses experimentos (Lemes, et al., 2021; Romanello et al., 2023).

Pezzopane et al. (2019b) realizaram amplo trabalho com quantificação dos índices CTR e ITGU nos experimentos ILPF-Corte e SSP-Nativas, e uma síntese dos resultados obtidos está expressa na Figura 5.8. Os dois sistemas arborizados (SSP-Nativas e ILPF-Corte) reduziram a carga térmica radiante sobre os animais. Na média horária de todo o período experimental, os valores de CTR no experimento SSP-Nativas (Figura 5.8A) atingiram cerca de  $700 \text{ W m}^{-2}$  nas horas centrais do dia no sistema a pleno sol, seguido pelo ponto SSP-Nativas\_meio (meio do entretrenque, Figura 5.2), que atingiu

$680 \text{ W m}^{-2}$  próximo ao meio-dia. Já em SSP-Nativas\_arvore, os valores atingiram  $550 \text{ W m}^{-2}$  próximo das 14 h. Já no experimento ILPF-Corte (Figura 5.8B), considerando a média horária durante todo o período experimental avaliado, os valores máximos de CTR no sistema a pleno sol atingiram cerca de  $700 \text{ W m}^{-2}$  nas horas centrais do dia, seguido pelo ponto ILPF-Corte\_meio com  $620 \text{ W m}^{-2}$  próximo ao meio-dia e  $600 \text{ W m}^{-2}$  no mesmo horário no ponto de avaliação próximo às árvores.

Com relação ao índice ITGU, Pezzopane et al. (2019b) determinaram que no SSP-Nativas, considerando todo o período experimental (Figura 5.8C), no ponto de avaliação SSP-Nativas\_meio, no período da manhã, onde ocorreu elevada transmissão de RFA pelas árvores, os valores de ITGU foram maiores que na pastagem a pleno sol, e no ponto de avaliação sob as árvores os valores de ITGU se mantiveram abaixo do ITGU no sistema a pleno sol. A partir das 14 h, os dois pontos do sistema silvipastoril se mantiveram



**Figura 5.8.** Valores médios horários do índice de conforto da carga térmica radiante (A e B) e índice de temperatura do globo negro e umidade (ITGU) (C e D) na pastagem a pleno sol (PS) e nos sistemas silvipastoril com espécies arbóreas nativas (SSP-Nativas) e com eucaliptos integração lavoura-pecuária-floresta-corte (ILPF-Corte), respectivamente, em São Carlos-SP.

Fonte: Pezzopane et al. (2019b).

semelhantes, com valores de ITGU abaixo de 79. Já no experimento ILPF-Corte (Figura 5.8D), os dois pontos de medida no sistema SSP permaneceram com valores menores que o sistema a pleno sol ao longo do dia.

Ambos os sistemas promoveram redução significativa no número de horas com  $ITGU < 79$ , considerado como limiar para manifestação inicial de estresse térmico aos bovinos (Baeta, 1985; Baeta; Souza, 2010). Essa redução variou nos sistemas ao longo das estações do ano e nos dois pontos avaliados, o que, segundo Pezzopane et al. (2020), ocorreu em função do tipo de copa das árvores e orientação dos renques.

Uma constatação relevante do trabalho apresentado por Pezzopane et al. (2019b) foi a capacidade dos sistemas silvipastoris em promover a adaptação do sistema de produção pecuário aos cenários de mudanças climáticas relacionados ao aumento da temperatura do ar. No SSP-Nativas, os valores de ITGU ultrapassaram 79 (início de estresse), quando a temperatura do ar na estação meteorológica padrão foi de 27,1 °C, enquanto na pastagem a pleno sol esse valor foi de 24,9 °C. No ILPF-Corte, o ITGU atingiu 79 quando a temperatura do ar na estação meteorológica padrão foi de 26 °C, enquanto a pleno sol esse limite foi atingido com 24,8 °C. Esses dados mostraram a capacidade dos sistemas SSP-Nativas e ILPF-Corte em manter o conforto, com acréscimos de até 2,2 °C e 1,2 °C, respectivamente, na temperatura média nas condições vigentes.

### 5.2.5 Umidade do solo

Os teores de água no solo em sistemas pastoris ou agrícolas com a presença dos renques de árvores sofreram alterações em função da distância das árvores nos sistemas SSP-Nativas e ILPF-Corte. Essas constatações foram obtidas por Pezzopane et al. (2015), Bosi et al. (2020b) e Bieluczyk et al. (2023).

Ao avaliarem episódios de retirada de água no solo após a ocorrência de eventos de chuvas volumosas, Pezzopane et al. (2015) e Bosi et al. (2020b), nos sistemas SSP-Nativas e ILPF-Corte, respectivamente, identificaram padrões semelhantes, com maior consumo de água nos pontos de observação próximos ao renque de árvores, especialmente em profundidades maiores, devido à extração de água pelas árvores.

Resultados semelhantes foram obtidos por Bieluczyk et al. (2023), ao avaliarem a umidade do solo na fase lavoura e posteriormente de pastagem no sistema ILPF-Corte. Os autores observaram menores

valores de água disponível no solo nas proximidades das árvores, evidenciando um gradiente entre renques (distâncias de 1,9 < 4,3 < 7,5 m), especialmente na estação seca, enquanto nas estações chuvosas os valores foram, em sua maioria, semelhantes.

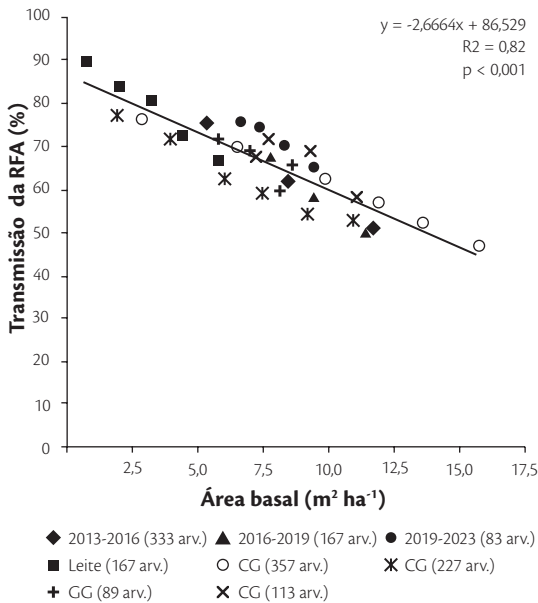
Por outro lado, nas camadas superficiais, Bosi et al. (2020b) identificaram menor consumo de água em relação ao sistema de pastagem a pleno sol e nos pontos próximos ao renque das árvores, em função dos efeitos de sombreamento e quebra-vento (Figuras 5.3 e 5.4) sobre a evapotranspiração das forrageiras.

Outra constatação interessante obtida por Bosi et al. (2020b) no sistema ILPF-Corte, onde havia árvores de eucalipto, foi em relação aos episódios de recarga de água. Durante o período chuvoso, segundo esses autores, a recarga hídrica do solo foi maior nas proximidades das árvores, como resultado da elevada interceptação de água pelas copas e sua posterior deposição no solo, promovendo maior aumento da umidade do solo nesses pontos de amostragem.

### 5.2.6. Crescimento das árvores e transmissão da radiação fotossinteticamente ativa em SSPs: uma abordagem para manejo de desbaste

A partir do monitoramento contínuo do crescimento das árvores e da transmissão de RFA em sistemas silvipastoris, Pezzopane et al. (2024b) estabeleceram a relação entre essas variáveis visando à recomendação de manejo das árvores no sistema para maximizar a produção de forragem em SSPs.

O trabalho foi realizado considerando o componente arbóreo de espécies de eucalipto. Para o desenvolvimento do trabalho, foram considerados dados de transmissão da RFA nos experimentos de ILPF-Corte e ILPF-Leite, conduzidos na Embrapa Pecuária Sudeste, em São Carlos-SP, além de experimentos conduzidos em Campo Grande-MS. Esse conjunto de dados permitiu o estabelecimento de relações a partir de sistemas com densidade de árvores que variou de 83 a 357 árvores por hectare, em função dos diferentes estágios de desenvolvimento dos sistemas. Para a realização do estudo, os autores selecionaram diversas variáveis dendrométricas obtidas nos experimentos, tendo sido observada maior correlação entre a transmissão da RFA e a área basal, definida a partir da soma das áreas seccionais do tronco à altura do diâmetro à altura do peito (DAP = 1,3 m) (Figura 5.6).



**Figura 5.9.** Relação média entre área basal ( $m^2 ha^{-1}$ ) e transmissão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) no período de outubro a março para os sistemas silvipastoris com eucalipto conduzidos em São Carlos-SP (CPPSE) e Campo Grande, MS (CNPGC), Brasil, com 333 árvores  $ha^{-1}$  (CPPSE\_Corte\_333), 167 árvores  $ha^{-1}$  (CPPSE\_Corte\_167), 83 árvores  $ha^{-1}$  (CPPSE\_Corte\_83), 167 árvores  $ha^{-1}$  (CPPSE\_Leite\_167), 357 árvores  $ha^{-1}$  (CNPGC\_Corte\_357) e 222 árvores  $ha^{-1}$  (CNPGC\_Corte\_222).

Fonte: Pezzopane et al. (2024b).

Em sistemas silvipastoris, as informações obtidas entre a área basal e a transmissão da RFA podem auxiliar na manutenção de níveis adequados de transmissão por meio do manejo florestal, como o desbaste. Isso porque as forrageiras tropicais toleram níveis de sombreamento ao redor de 35% (Paciullo et al., 2011; Pezzopane et al., 2020), com pouco efeito na quantidade de forragem produzida no sistema. Nesse sentido, com as informações obtidas por Pezzopane et al. (2024b) (Figura 5.9), foi determinado o valor de área basal ao redor de  $8 m^2 ha^{-1}$  como indicador de necessidade de manejo por desbaste visando à manutenção do potencial produtivo da pastagem.

### 5.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da caracterização microclimática realizada em experimentos de longa duração em sistemas de ILPF evidenciam a influência da espécie arbórea, relacionada ao seu hábito de crescimento, além da densidade de plantio e orientação do renque

nas alterações do ambiente sob a copa das árvores. A disposição das árvores em renques promoveu uma variabilidade espacial dos parâmetros microclimáticos, e a magnitude da influência sofreu alterações ao longo do desenvolvimento dos sistemas em função do manejo do componente arbóreo. Os sistemas silvipastoris, ao promoverem o aumento do conforto térmico animal, apresentam-se como alternativas de adaptação dos sistemas de produção pecuários aos cenários de mudanças climáticas.

Assim como nas características microclimáticas, nas avaliações de umidade do solo também foi identificada variabilidade espacial, com maior consumo de água próximo ao renque de árvores, enquanto nos pontos avaliados dos sistemas silvipastoris houve menor consumo em comparação à pastagem a pleno sol.

A medição do crescimento das árvores nos sistemas e a quantificação da transmissão da radiação solar fotossinteticamente ativa permitiram o estabelecimento de relações entre essas variáveis, as quais podem auxiliar no manejo do componente arbóreo nos SSPs para maximizar a produção de forragem nos sistemas.

### 5.4 REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS EXPORTADORAS DE CARNE. **Beef Report: perfil da pecuária no Brasil 2024**. Brasília: ABIEC, 2024. 106 p. E-book. Disponível em: <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2024-perfil-da-pecuaria-no-brasil/>. Acesso em: 24 mar. 2025.
- BAETA, F. C. **Responses of lactating dairy cows to the combined effects of temperature, humidity and wind velocity in the warm season**. 1985. Thesis (Ph.D.) – University of Missouri, Columbia.
- BAETA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa: Editora UFV. 2010.
- BALISCEI, M. A.; BARBOSA, O. R.; SOUZA, W. D.; COSTA, M. A. T.; KRUTZMAN, A.; QUEIROZ, E. O. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 35, n. 1, 2013. DOI: <http://doi.org/10.4025/actascianimsci.v35i1.15155>.
- BARBERO, R. P.; RIBEIRO, A. C. C.; MOURA, A. M.; LONGHINI, V. Z.; MATTOS, T. F. A.; BARBERO, M. M. D. Potencial de produção de bovinos de corte em pastagens tropicais: revisão de literatura. **Ciência Animal Brasileira**, v. 22, n. e-69609, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1590/1809-6891v22e-69609>.
- BESSI, D.; BERNARDI, A. C. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; TANAKA, M. O. Decomposition and stabilization of the organic matter in integrated livestock production systems. **Agroforestry**

- Systems**, v. 98, n. 7, p. 2275, 2024. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10457-024-01044-0>.
- BIELUCZYK, W.; PICCOLO, M. C.; PEREIRA, M. G.; MORAES, M. T.; SOLTANGHEISI, A.; BERNARDI, A. C. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; MOREIRA, M. Z.; CAMARGO, P. B.; DIAS, C. T. S.; BATISTA, I.; CHERUBIN, M. R. Integrated farming systems influence soil organic matter dynamics in southeastern Brazil. **Geoderma**, v. 371, p. 114368, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114368>.
- BIELUCZYK, W.; PICCOLO, M. C.; PEREIRA, M. G.; LAMBAIS, G. R.; GERMON, A.; MORAES, M. T.; SOLTANGHEISI, A.; CAMARGO, P. B.; BOSI, C.; BERNARDI, A. C. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; BATISTA, I.; CHERUBIN, M. R. Fine root dynamics in a tropical integrated crop-livestock-forestry system. **Rhizosphere**, v. 26, p. 100695, 2023. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rhisph.2023.100695>.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C.; SANTOS, P. M.; NICODEMO, M. L. F. Produtividade e características biométricas do capim-braquiária em sistema silvipastoril. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, n. 6, p. 449-456, 2014. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2014000600006>.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C. Silvopastoral system with Eucalyptus as a strategy for mitigating the effects of climate change on Brazilian pasturelands. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 92, p. e20180425, 2020a. DOI: <http://doi.org/10.1590/0001-3765202020180425>.
- BOSI, C.; PEZZOPANE, J. R. M.; SENTELHAS, P. C. Soil water availability in a full sun pasture and in a silvopastoral system with eucalyptus. **Agroforestry Systems**, v. 94, n. 2, p. 429-440, 2020b. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10457-019-00402-7>.
- BUFFINGTON, D. E.; COLLAZO-AROCHO, A.; CANTON, G. H.; PITT, D.; THATCHER, W. W.; COLLIER, R. J. Black globe-humidity index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transactions of the ASAE. American Society of Agricultural Engineers**, v. 24, p. 711-714, 1981. DOI: <http://doi.org/10.13031/2013.34325>.
- BRENNER, A. J. Microclimatic modifications in agroforestry. In: ONG, C. K.; HUXLEY, P. (ed.). **Tree-crop interactions: a physiological approach**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996. p. 159-188.
- BRUNETTI, H. B.; OLIVEIRA, P. P. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; BERNARDI, A. C. C.; GARCIA, A. R.; BERNDT, A.; PEDROSO, A. F.; LELIS, A. L. J.; MEDEIROS, S. R. Silvopastoral system as a climate-smart alternative for beef production: Enteric methane emission neutralization and animal thermal comfort increase. **Agricultural Systems**, v. 225, p. 104277, 2025. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2025.104277>.
- BRUZ, L. S. M.; SANTOS, A.; DEMETRIO, W. C.; PRIMO, D. F.; FELICIANO, L. P.; FERNANDES, C. H.; BARTZ, M. L. C.; BERNARDI, A. C. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; BROWN, G. G. Earthworms in various agricultural and forest ecosystems in São Carlos-SP, Brazil. **Zootaxa**, v. 5255, n. 1, p. 324-335, 2023. DOI: <http://doi.org/10.11646/zootaxa.5255.1.26>.
- ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. Westport: Avi Publishing, 1978.
- GARCIA, A. R.; BERNARDI, A. C. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; REDAELLI, V.; LUZI, F.; LAURENTI, N.; MENEGAZZO, L. P.; GRUDZINSKI, C. E.; SANTOS JUNIOR, P. C.; BARBOSA, A. V. C. Use of infrared thermography from a crewed aerial vehicle for remote sensing of tropical pasture areas with different levels of afforestation. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 213, p. 108198, 2023. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108198>.
- GIRO, A.; PEZZOPANE, J. R. M.; BARIONI JUNIOR, W.; PEDROSO, A. F.; LEMES, A. P.; BOTTA, D.; ROMANELLO, N.; BARRETO, A. N.; GARCIA, A. R. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. **The Science of the Total Environment**, v. 684, p. 587-596, 2019. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.377>.
- GUSMÃO, M. R.; OLIVEIRA, M. C. S.; NICODEMO, M. L. F.; PEZZOPANE, J. R. M. Insect richness in dung patches of cattle raised in two livestock systems. **Revista de Agricultura Neotropical**, v. 7, n. 1, p. 9-17, 2020. DOI: <http://doi.org/10.32404/rean.v7i1.4033>.
- JOELE, M.R.S.P.; LOURENÇO, L.F.H.; LOURENÇO JÚNIOR, J.B.; ARAUJO, G.S.; BUDEL, J.C.C.; GARCIA, A.R. Meat Quality of Buffaloes Finished in Traditional or Silvopastoral System in the Brazilian Eastern Amazon. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, p. 1740-1745, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/jfsa.7922>.
- KELLY, C.; BOND, T. E. Bioclimatic factors and their measurement. In: National Academic of Sciences (ed.). **A guide to environmental research on animals**. Washington: National Academic of Sciences, 1971. p. 71-92.
- LEMES, A.; GARCIA, A. R.; PEZZOPANE, J. R. M.; BRANDÃO, F. Z.; WATANABE, Y. F.; COOKE, R. F.; SPONCHIADO, M.; DE PAZ, C. C. P.; CAMPRESI, A. C.; BINELLI, M.; GIMENES, L. U. Silvopastoral system is an alternative to improve animal welfare and productive performance in meat production systems. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 14092, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1038/s41598-021-93609-7>.
- MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 15, p. 2241-2255, 2009. DOI: <http://doi.org/10.1002/joc.1863>.
- OLIVEIRA, M. C. S.; NICODEMO, M. L. F.; GUSMÃO, M. R.; PEZZOPANE, J. R. M.; BILHASSI, T. B.; SANTANA, C. H.; GONÇALVES, T. C.; RABELO, M. D.; GIGLIOTTI, R. Differential *Haematobia irritans* infestation levels in beef cattle raised in silvopastoral and conventional pasture systems. **Veterinary Parasitology**, v. 246, p. 96-99, 2017. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.vetpar.2017.08.020>.
- PACIULLO, D. S. C.; GOMIDE, C. A. M.; CASTRO, C. R. T.; FERNANDES, P. B.; MÜLLER, M. D.; PIRES, M. F. Á.; FERNANDES, E. N.; XAVIER, D. F. Características produtivas e nutricionais do pasto em sistema agrossilvipastoril, conforme a distância das árvores. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n.

- 10, p. 1176-1183, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000009>.
- PASQUINI NETO, R.; FURTADO, A. J.; DA SILVA, G. V.; LOBO, A. A. G.; ABDALLA FILHO, A. L.; BRUNETTI, H. B.; BOSI, C.; PEDROSO, A. F.; PEZZOPANE, J. R. M.; OLIVEIRA, P. P. A.; RODRIGUES, P. H. M. Forage accumulation and nutritive value in extensive, intensive, and integrated pasture-based beef cattle production systems. **Crop & Pasture Science**, v. 75, n. 5, p. 1, 2024. DOI: <http://doi.org/10.1071/CP24043>.
- PEZZOPANE, J. R. M.; BOSI, C.; NICODEMO, M. L. F.; SANTOS, P. M.; CRUZ, P. G.; PARMEJIANI, R. S. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. **Bragantia**, v. 74, p. 110-119, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0334>.
- PEZZOPANE, J. R. M.; BERNARDI, A. C. C.; BOSI, C.; OLIVEIRA, P. P. A.; MARCONATO, M. H.; PEDROSO, A. F.; ESTEVES, S. N. Forage productivity and nutritive value during pasture renovation in integrated systems. **Agroforestry Systems**, v. 93, p. 39-49, 2019a. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10457-017-0149-7>.
- PEZZOPANE, J. R. M.; NICODEMO, M. L. F.; BOSI, C.; GARCIA, A. R.; LULU, J. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. **Journal of Thermal Biology**, v. 79, p. 103-111, 2019b. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.015>.
- PEZZOPANE, J. R. M.; BERNARDI, A. C. C.; AZENHA, M. V.; OLIVEIRA, P. P. A.; BOSI, C.; PEDROSO, A. F.; ESTEVES, S. N. Production and nutritive value of pastures in integrated livestock production systems: shading and management effects. **Scientia Agrícola**, v. 77, n. 2, p. e20180150, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1590/1678-992x-2018-0150>.
- PEZZOPANE, J. R. M.; BOSI, C.; BERNARDI, A. C. C.; MULLER, M. D.; DE OLIVEIRA, P. P. A. Managing eucalyptus trees in agroforestry systems: productivity parameters and PAR transmittance. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 312, p. 107350, 2021. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107350>.
- PEZZOPANE, J. R. M.; PEZZOPANE, J. E. M.; ALMEIDA, S. L. H.; MAIELLO, I. P.; BERNARDI, A. C. C.; SANTOS, S. A.; GARCIA, A. R. Modelo Agrometeorológico para Estimar a Temperatura de Superfície em Sistemas Silvopastoris. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE SISTEMAS SILVOPASTORILES, 12.; CONGRESSO DE LA RED GLOBAL DE SISTEMAS SILVOPASTORILES, 2.; SEMINARIO NACIONAL DE SISTEMAS SILVOPASTORILES, 4., 2023, Montevideo. **Sistemas silvopastoriles: hacia una diversificación sostenible**. Cali: CIPAV, 2023. v. 1, p. 664-668.
- PEZZOPANE, J. R. M.; MAIELLO, I. P.; LAURENTI, N.; BETTIOL, G. M.; BOSI, C.; BRUNETTI, H. B.; GARCIA, A. R.; BERNARD, A. C. Variabilidade espaçotemporal da transmissão da radiação fotossinteticamente ativa em sistema silvipastoril. In: BASSOI, L. H.; BERNARDI, A. C. C.; VAZ, C. M. P.; PIRES, J. L. E.; GEBLER, L.; JORGE, L. A. C.; INAMASU, R. Y. (org.). **Agricultura de precisão: um novo olhar na era digital**. 1. ed. São Carlos: Cubo, 2024a. v. 1, p. 764-767. DOI: <http://doi.org/10.4322/978-65-86819-38-0.1000047>.
- PEZZOPANE, J. R. M.; BOSI, C.; BRUNETTI, H. B.; DE ALMEIDA, R. G.; LAURA, V. A.; OLIVEIRA, C. C.; MULLER, M. D. Basal area as a strategic indicator for forest component management in silvopastoral systems: insights from long-term experiments. **Agroforestry Systems**, v. 98, n. 7, p. 2013-2025, 2024b. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10457-024-01038-y>.
- ROMANELLO, N.; BARRETO, A. N.; SOUSA, M. A. P.; BALIEIRO, J. C. C.; BRANDÃO, F. Z.; TONATO, F.; BERNARDI, A. C. C.; PEZZOPANE, J. R. M.; PORTUGAL, J. A. B.; GARCIA, A. R. Thermal comfort of Nelore (*Bos indicus*) and Canchim (*Bos taurus* x *Bos indicus*) bulls kept in an integrated crop-livestock-forestry system in a tropical climate. **Agricultural Systems**, v. 209, p. 103687, 2023. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103687>.
- SILVA, J. A. R.; ARAÚJO, A. A.; LOURENÇO JÚNIOR, J. B.; SANTOS, N. F. A.; GARCIA, A. R.; NAHÚM, B. S. Conforto térmico de búfalas em sistema silvipastoril na Amazonia Oriental. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. 1364-1371, 2011. DOI: <http://doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000033>.
- SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. The environment. In: SILVA, R. G.; MAIA, A. S. C. (ed.). **Principles of animal biometeorology**. London: Springer, 2013. pp. 1-38. DOI: [http://doi.org/10.1007/978-94-007-5733-2\\_1](http://doi.org/10.1007/978-94-007-5733-2_1)
- SILVA-PANDO, F. J.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, M. P.; ROZADOS-LORENZO, M. J. Pasture production in a silvopastoral system in relation with microclimate variables in the atlantic coast of Spain. **Agroforestry Systems**, v. 56, n. 3, p. 203-211, 2002. DOI: <http://doi.org/10.1023/A:1021359817311>.