

CAMILA SOUZA DA SILVA

**MICROCLIMA EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-
FLORESTA (ILPF)**

TANGARÁ DA SERRA/MT - BRASIL

2019

CAMILA SOUZA DA SILVA

**MICROCLIMA EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-
FLORESTA (ILPF)**

Dissertação apresentada à Universidade do Estado de Mato Grosso, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ambiente e Sistemas de Produção Agrícola para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Rivanildo Dallacort

Coorientador: Dr. Cornélio Alberto Zolin

TANGARÁ DA SERRA/MT - BRASIL

2019

Luiz Kenji Umeno Alencar CRB 1/2037

SILVA, Camila Souza da.
S586m Microclima em Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (Ilpf) / Camila Souza da Silva – Tangará da Serra, 2020.
56 f.; 30 cm. (ilustrações) Il. color. (sim)

Trabalho de Conclusão de Curso
(Dissertação/Mestrado) – Curso de Pós-graduação Stricto Sensu
(Mestrado Acadêmico) Interdisciplinar em Ambiente e Sistemas de
Produção Agrícola, Faculdade de Ciências Agrárias, Biológicas,
Engenharia e da Saúde, Câmpus de Tangara da Serra, Universidade
do Estado de Mato Grosso, 2020.

Orientador: Rivanildo Dallacort Coorientador:
Cornélio Alberto Zolin

1. Microclima. 2. Componente Florestal. 3. Sombreamento.
4. Conforto Térmico. I. Camila Souza da Silva. II. Microclima em
Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (Ilpf): .

CDU 630*111:630*26

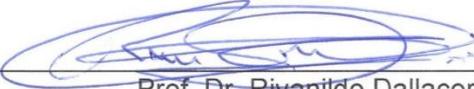
CAMILA SOUZA DA SILVA

**“MICROCLIMA EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-
FLORESTA (ILPF)”**

Dissertação apresentada à
Universidade do Estado de Mato
Grosso, como parte das exigências
do Programa de Pós-graduação
Stricto Sensu em Ambiente e
Sistemas de Produção Agrícola para
obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 22 de novembro de 2019.

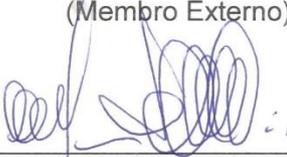
Banca Examinadora



Prof. Dr. Rivanildo Dallacort
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT
Orientador



Prof. Dr. Ciro Augusto de Souza Magalhães
Embrapa - Sinop/MT
(Membro Externo)



Prof. Dr. Marco Antônio Camillo de Carvalho
Universidade do Estado de Mato Grosso - UNEMAT
(Membro Interno)

TANGARÁ DA SERRA/MT- BRASIL

2019

DEDICATÓRIA

Aos meus pais Maria e Sebastião, por me darem todo suporte como pessoa e como profissional, eu e os meninos não seríamos nada se não fosse o amor, a dedicação e o empenho de vocês para conosco.

Aos meus irmãos Danilo e Sergio pelo amor e pelas palavras carinhosas.

A vocês, minha dedicação e o meu amor!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, por me conceder saúde, paciência e determinação para que eu conseguisse chegar até aqui na minha trajetória de estudante.

Aos meus pais (Maria e Sebastião) e irmãos (Danillo e Sergio), sobrinha (Cecília) e cunhada (Bia) por serem meus grandes incentivadores, meu porto seguro sempre, minha base, minha referência de amor e perseverança. Um agradecimento especial à minha mãe, por todas as vezes que atendia as minhas ligações e me incentivava, sendo meu exemplo de fé.

Aos meus velhos amigos (Marci, Fuvi, Gui, Bê, Douglas, Pati, Queille, Mari, Juh, Will e Lê), que mesmo longe, estiveram presentes me incentivando, me escutando, sempre com carinho e palavras de apoio. E aos novos amigos, que conquistei em Tangará da Serra (Tati, Flaris, Lolô, Mari, Ariel e João Paulo). Às colegas da república (Marcilene, Geísa e Juli), por me acolherem na República e por suportarem os ciclos de humor de uma mestranda.

Aos membros do Grupo “QualisA”, por serem meu ombro e minha inspiração, e pelos papos no “cafezinho”, que serviam como momentos de lazer durante a semana no laboratório. E às novas amizades que o mestrado permitiu que fizesse durante as disciplinas (Alexander, Cláudia, Flávio, Grazi, Lucilene, Michele, Vanessa e Rita). Com vocês, a jornada foi mais leve, obrigada!

Ao meu orientador Rivanildo Dallacort pelos ensinamentos e orientação, como também ao meu coorientador Cornélio Alberto Zolin, pela disposição e pelas valiosas contribuições neste trabalho.

À UNEMAT, ao PPGASP e ao CETEGEO pela oportunidade de aperfeiçoamento e estrutura cedida à construção desta dissertação. E a todos os membros do CETEGEO, especialmente a Vanessa Rakel (Vanessinha), que se tornou uma grande amiga, sempre incentivando, dando bons conselhos e ensinamentos.

À Embrapa Agrossilvipastoril, pela disponibilização do banco de dados utilizados nesta pesquisa, em especial ao pesquisador Zolin. Gratidão é o que eu sempre terei por essa Instituição e pelos amigos que fiz lá dentro desde a graduação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudos durante o mestrado.

A todos, meus sinceros agradecimentos. Vocês foram imprescindíveis tanto na construção da minha vida pessoal, quanto profissional. Obrigada!

EPÍGRAFE

“Tudo posso naquele que me fortalece.”

Filipenses 4:13

SUMÁRIO

RESUMO	10
ABSTRACT	11
INTRODUÇÃO GERAL	14
REFERÊNCIAS.....	17
ARTIGO 1	19
VARIABILIDADE MICROCLIMÁTICA EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (ILPF)	19
RESUMO	19
ABSTRACT	19
1. INTRODUÇÃO	20
2. MATERIAL E MÉTODOS	21
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
3.1 Análise univariada do microclima	23
3.2 Análise multivariada do microclima	27
4. CONCLUSÃO	30
REFERÊNCIAS.....	31
ARTIGO 2	35
CONFORTO TÉRMICO EM DIFERENTES ARRANJOS DE SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (ILPF)	35
RESUMO	35
ABSTRACT	35
1 INTRODUÇÃO	36
2 MATERIAL E MÉTODOS	37
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
3.1 Avaliação por estação do ano	40
3.2 Avaliação horária.....	44

4 CONCLUSÃO	49
REFERÊNCIAS.....	50
CONSIDERAÇÕES FINAIS	55

RESUMO

O componente florestal em integração lavoura-pecuária-floresta pode causar várias alterações no sistema, dentre elas, no microclima, tendo reflexos no conforto térmico animal. Assim, este trabalho teve como objetivo quantificar as alterações no microclima em diferentes posições em sistema ILPF e avaliar a influência dos renques no conforto térmico animal em dois sistemas ILPF na Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop/MT, de renques duplos e triplos de eucalipto espaçados 49 m (ILPF49m) e 15 m (ILPF15m) entre si, respectivamente. O primeiro artigo teve como objetivo quantificar as alterações do microclima em quatro posições do ILPF49m, sendo: sob o renque (ILPF_{renque}), a 24,5 m (ILPF_{24,5m}), a 12,25 m face sul (ILPF_{12,25S}) e norte (ILPF_{12,25N}) do renque e a pleno sol (PS), adjacente ao ILPF49m. Para quantificar o microclima por estação do ano, utilizou-se médias horárias das 8h às 16h00 de temperatura média (Tmed) e máxima (Tmax) diária, umidade relativa do ar média (Urmed) e mínima (Urmin) diária, radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e velocidade do vento (Vv) em dois períodos, sendo de março de 2014 a março de 2015 e de setembro de 2017 a setembro de 2018. Os dados foram analisados por meio de teste de médias e análise multivariada. As maiores alterações foram verificadas no ILPF_{renque}, diminuindo a transmissão de RFA em todas as estações do ano, variando de 28 a 45%, no outono e inverno de 2014/2015, respectivamente. Entre as posições do entre renques, as maiores transmissões foram no ILPF_{12,25S} na primavera e verão, e no ILPF_{12,25N} no outono e inverno. As Tmed e Tmax foram menores no ILPF_{renque} e os demais pontos foram estatisticamente iguais ao PS. A Urmed e Urmin foram maiores sob o renque e no período 2017/2018. A Vv foi menor no ILPF_{12,25S}, em relação ao PS e ao ILPF_{12,25N}, o qual, em muitas ocasiões foi igual ao PS. A análise multivariada separou quatro grupos distintos, sendo: grupo 1: ILPF_{renque}, grupo 2: ILPF_{12,25S}, grupo 3: ILPF_{24,5m} e grupo 4: ILPF_{12,25N}+PS, cuja RFA e Tmed foram as variáveis que mais contribuíram para a separação dos grupos, seguidas pela Vv. A análise univariada permitiu concluir que renques duplos de eucalipto espaçados 49 m entre si promovem variações espaço-temporais do microclima. As árvores proporcionaram melhoria do microclima principalmente abaixo do renque e no ILPF_{12,25S} no outono e no inverno. As maiores alterações foram referentes à transmissão de RFA na face norte e sul do renque, decorrente da declinação solar e

época do ano, causando efeitos na temperatura e umidade relativa do ar. O segundo artigo objetivou avaliar o conforto térmico no centro do entre renques do ILPF49m (ILPF_{24,5m}) e do ILPF15m (ILPF_{7,5m}), comparando-os ao PS. Foram coletados dados de T_{med}, U_{med}, temperatura do globo negro (TGN) e V_v de março de 2014 a fevereiro de 2016. Calculou-se o Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU) e a Carga Térmica Radiante (CTR) para cada estação do ano, utilizando dados horários das 8h00 às 16h00, e três horários do dia (9, 12 e 15h00). A Tar, RFA, e TGN foram menores no ILPF_{7,5m} em todas as estações do ano, enquanto o ILPF_{24,5m} foi estatisticamente igual ao PS. A UR foi maior a PS no verão, e igual ao ILPF_{7,5m} na primavera e outono. A V_v foi maior a PS, sem distinção do ILPF_{7,5m} no verão. O ITGU médio variou de 80,7 a 87,4, com maiores médias a PS e menores no ILPF_{7,5m}. A CTR variou de 538,9 a 715,4 W m⁻², sendo maior a PS em todas as estações do ano, seguido pelo ILPF_{24,5m} e ILPF_{7,5m}. O ILPF_{7,5m} reduziu o ITGU 5,9, 4,3 e 4,8%, às 9, 12 e 15h00, respectivamente e o ILPF_{24,5m}, 0,4 (9h00) e 0,6% (12 e 15h00). Assim, os sistemas ILPF alteram os índices com maiores efeitos no ILPF_{7,5m}, com reduções expressivas na CTR. O ILPF_{24,5m} se assemelhou ao PS, quanto ao ITGU, atingindo níveis desconfortáveis, assim como o ILPF_{7,5m}, porém, as árvores foram capazes de reduzir o ITGU, principalmente no ILPF_{7,5m}. Dessa forma, o sistema de ILPF altera o microclima e melhora o conforto térmico dos animais.

Palavras-chave: Microclima; Componente florestal; Sombreamento; Conforto térmico.

ABSTRACT

The forest component in integration crop-livestock-forest can cause several alterations in the system, among them, in the microclimate, having effects on the animal thermal comfort. Thus, this work aimed to quantify the microclimate changes in different positions in the ICLF system and to evaluate the influence of the rows on animal thermal comfort in two ICLF systems at Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop/MT, with double and triple spaced eucalyptus rows 49 m (ICLF49m) and 15m (ICLF15m) to each other, respectively. The first article aimed to quantify microclimate changes in four positions of the ICLF49m: under the row (ICLF_{row}), at 24.5m (ICLF_{24.5m}), at 12.25m south face (ICLF_{12.25S}) and north face (ICLF_{12.25N}) of the row and in full sun (Fs),

adjacent to ICLF49m. To quantify the microclimate by seasons of the year, we used hourly averages from 8am to 4pm of daily average (T_a) and maximum (T_{max}) temperature, daily average (Rh) and minimum (Rhmin) relative humidity, photosynthetically active radiation (PAR) and wind speed (Ws) in two periods, from March 2014 to March 2015 and from September 2017 to September 2018. Data were analyzed by tests of means and multivariate analysis. The largest changes were observed in ICLF_{row}, decreasing the PAR transmission in all seasons, varying from 28 to 45% in the autumn and winter of 2014/2015, respectively. Among the positions of the between rows, the highest transmissions were in ICLF_{12.25S} in spring and summer, and in ICLF_{12.25N} in autumn and winter. T_a and T_{max} were lower in ICLF_{row} and the other points were statistically equal to Fs. Rh and Rhmin were larger under the row and in the 2017/2018 period. Ws was lower in ICLF_{12.25S}, compared to Fs and ICLF_{12.25N}, which in many occasions was equal to Fs. The multivariate analysis separated four distinct groups: group 1: ICLF_{row}, group 2: ICLF_{12.25S}, group 3: ICLF_{24.5m} and group 4: ICLF_{12.25N} + Fs, whose PAR and T_a were the variables that most contributed to the group separation, followed by Ws. The univariate analysis enabled to conclude that double rows of spaced eucalyptus 49m apart promote spatiotemporal variations of the microclimate. The trees provided microclimate improvement mainly below the row and in the ICLF_{12.25S} in the autumn and winter. The biggest changes were related to the PAR transmission in the north and south face of the row, due to solar declination and time of year, causing effects on temperature and air relative humidity. The second article aimed to evaluate the thermal comfort in the center of the between rows of ICLF49m (ICLF_{24.5m}) and ICLF15m (ICLF_{7.5m}), comparing them to Fs. T_a , Rh, Black Globe Temperature (T_g), and Ws data were collected from March 2014 to February 2016. The Black Globe Temperature and Humidity Index (BGHI) and Radiant Thermal Load (RTL) were calculated for each season of the year, using hourly data from 8am to 4pm, and three times of the day (9am, 12 noon and 3pm). T_a , PAR, and T_g were lower in ICLF_{7.5m} in all seasons, while ICLF_{24.5m} was statistically equal to Fs. The RH was higher on Fs in summer, and equal to ICLF_{7.5m} in spring and autumn. Ws was higher on Fs, without distinction of ICLF_{7.5m} in summer. The average BGHI ranged from 80.7 to 87.4, with higher averages on Fs and lower in ICLF_{7.5m}. The RTL ranged from 538.9 to 715.4 W m⁻², being higher on Fs in all seasons, followed by ICLF_{24.5m} and ICLF_{7.5m}. The ICLF_{7.5m} reduced the BGHI 5.9, 4.3 and 4.8% at 9am, 12 noon and 3pm, respectively, and the ICLF_{24.5m}, 0.4 (9am) and 0.6% (12 noon and 3pm).

Thus, ICLF systems alter the indexes with the greatest effects on $ICLF_{7.5m}$, with significant reductions in RTL. The $ICLF_{24.5m}$ was similar to Fs, in relation to the BGHI, reaching uncomfortable levels, as well as the $ICLF_{7.5m}$, however, the trees were able to reduce the BGHI, mainly in the $ICLF_{7.5m}$. Thus, the ICLF system alters the microclimate and improves the thermal comfort of the animals.

Keywords: Microclimate; Forest component; Shading; Thermal comfort.

INTRODUÇÃO GERAL

O futuro da alimentação humana depende de tecnologias que promovam a intensificação sustentável da produção, visando eficiência no uso das terras, água e insumos (FOLEY et al., 2011; HERRERO et al., 2010), de forma que haja o aumento da produtividade, conservação e recuperação do meio ambiente, como também o crescimento econômico (SMITH, 2015; TILMAN et al., 2011).

Os sistemas integrados de produção agropecuária (SIPA) preenchem esses requisitos, pois representam estratégias que visam o uso sustentável da terra, através da diversificação de atividades praticadas na mesma área. Estes sistemas são baseados no uso eficiente e racional dos recursos produtivos, como também na adoção de tecnologias compatíveis à realidade do agricultor, com vistas a otimizar a relação custo/benefício, a utilização dos insumos, e seus respectivos resíduos (BALBINO; CORDEIRO; MARTINEZ, 2011).

Nesses moldes, os sistemas de integração lavoura pecuária-floresta (ILPF) vem sendo tratado no Brasil como uma excelente alternativa de produção sustentável. Este sistema alia produção pecuária, agrícola e florestal em uma mesma área, em cultivo simultâneo ou sequencial, sendo uma forma de otimizar o uso da terra, visando a obtenção de efeitos sinérgicos entre os componentes, aliando adequação ambiental, valorização do homem e viabilidade econômica (BALBINO; CORDEIRO; MARTINEZ, 2011).

São quatro combinações possíveis dentro da estratégia ILPF, sendo a integração lavoura-pecuária (ILP) ou agropastoril, integra os componentes agrícola e pecuário, em consórcio ou sucessão, na mesma área, no mesmo ano agrícola ou por vários anos; integração pecuária-floresta (IPF) ou silvipastoril: consorcia o componente pecuário (pastagem e animal) com espécies arbóreas; integração lavoura-floresta (ILF) ou silviagrícola: permite o consórcio entre espécies florestais e agrícolas, sendo estas anuais ou perenes; e integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) ou agrossilvipastoril: comporta na mesma área os três componentes, em cultivo rotacionado, sucessional ou consorciado, em que a lavoura pode ser restrita aos primeiros anos ou ser implantada em ciclos durante o desenvolvimento do sistema (BALBINO; BARCELLOS; STONE, 2011).

A ILPF tem evidenciado ser uma alternativa promissora à recuperação de áreas agrícolas e pecuárias degradadas, sendo adotadas em distintas intensidades no Brasil, embora ainda incipiente na maioria das regiões do país (ALVES; LAURA; ALMEIDA, 2015). Broom; Galindo; Murgueitio (2013) relatam que se bem manejados, os sistemas ILPF podem substituir os sistemas existentes em muitos locais, a nível de mundo, reduzindo assim, a expansão agrícola em áreas de conservação. As árvores podem estabilizar o microclima, proteger os animais das condições extremas do clima, promovendo o conforto térmico com reflexos na produtividade dos mesmos (SOUZA et al., 2010).

Em virtude da complexidade das interações dos sistemas ILPF torna-se imprescindível a compreensão das interações entre os componentes agrícola, forrageiro e florestal, tendo em vista que a adaptação das espécies sob a copa das árvores depende principalmente de sua habilidade em crescer em condições microclimáticas modificadas pelo componente florestal (BALBINO; CORDEIRO; MARTINEZ, 2011; SOARES et al., 2009).

As condições microclimáticas, por sua vez, são influenciadas pelo tipo de cobertura do terreno, a qual, modifica o clima em microescala, em função do balanço de energia local. Florestas promovem diminuição das variações térmicas acentuadas durante o dia (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Em sistema ILPF, as árvores são capazes de alterar o microclima, causando reduções na temperatura do globo negro e na velocidade do vento, aumentando assim o conforto térmico dos animais, quando comparado à pastagem sem sombra (BALISCEI et al., 2013).

O sombreamento moderado pode atenuar os efeitos das condições climáticas extremas, reduzindo a temperatura máxima próximo às árvores (PEZZOPANE et al., 2015), o excesso de irradiância e a temperatura (ARAÚJO et al., 2015), cujos efeitos são dependentes das características morfológicas das árvores, como estrutura, formato e densidade de copa (KARVATTE JUNIOR et al., 2016).

Espécies como o eucalipto (*Eucalyptus* spp.) que possuem copa elipsoidal e menor densidade de galhos facilitam a incidência de radiação para os demais componentes do sistema, permitindo maior fluxo de energia sob a copa (KARVATTE JUNIOR et al., 2016). Além disso, se destacam por serem espécies de rápido crescimento, com clones provenientes de programas de melhoramento genéticos, pela produção de madeira para usos múltiplos e pela capacidade de adaptação em

diferentes condições edafoclimáticas, por isso são as mais implantadas em sistemas ILPF (GONTIJO NETO et al., 2014).

Essas alterações causadas pela arborização proporcionam microclima favorável para o componente pecuário, com reflexos no conforto térmico dos animais à sombra das árvores, quando comparado à exposição solar direta (BALISCEI et al., 2013; GARCIA et al., 2011). Para isso, o espaçamento entre as árvores deve ser bem planejado, de maneira que permita o desenvolvimento tanto da pastagem quanto do componente florestal (SOARES et al., 2009).

Embora os SIPA constituam uma importante estratégia para o uso da terra, ainda faltam informações a respeito das condições microclimáticas proporcionadas por eles, principalmente para o Estado de Mato Grosso, e mais especificamente para o ecótono Cerrado/Amazônia. Por isso, o entendimento da dinâmica da temperatura do ar, da temperatura do globo negro (TGN), da umidade relativa do ar, como também, da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e da velocidade do vento (Vv) em sistemas ILPF é de grande valia, no que tange as interações que ocorrem nesses ambientes.

Além disso, o monitoramento constante do microclima pode contribuir na elucidação sobre os efeitos benéficos ou prejudiciais, como também quanto a sustentabilidade desses sistemas. Dessa forma, a realização de pesquisas que analisem os arranjos dos componentes florestais em sistemas ILPF é imprescindível, de modo a ajustá-los para beneficiar todos os componentes presentes no sistema, no tocante ao sombreamento causado pelas árvores.

Diante disso, a hipótese deste estudo é que o componente florestal promove alterações dos elementos climáticos (temperatura do ar, umidade relativa do ar, transmissão da RFA e Vv). Além disso, diferentes arranjos dos componentes florestais têm maior ou menor influência no microclima, assim como promovem maior conforto térmico aos animais, sendo influenciado pelo espaçamento entre renques.

Esta pesquisa teve como objetivo analisar e disponibilizar informações coletadas por estações meteorológicas automáticas na forma de artigos científicos, cujo primeiro artigo, intitulado “Variabilidade microclimática em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)” visa quantificar as alterações no microclima em diferentes posições de um sistema ILPF.

O segundo, intitulado “Conforto térmico em diferentes arranjos de sistema de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF)” tem o intuito de analisar arranjos de

renques duplos e triplos em sistemas ILPF, comparando-os com um sistema convencional (sem árvores), através de índices de conforto térmico.

REFERÊNCIAS

ALVES, F. V.; LAURA, V. A.; ALMEIDA, R. G. (Ed.). **Sistemas agroflorestais: a agropecuária sustentável**. Brasília: Embrapa, 2015. 208 p.

ARAÚJO, R. A.; COSTA, R. B.; FELFILI, J. M.; GONÇALVES, I. K.; SOUSA, R. A. T. M.; DORVAL, A. Florística e estrutura de fragmento florestal em área de transição na Amazônia Mato-grossense no Município de Sinop. **Acta Amazonica**, v. 39, p. 865-878, 2009.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, O.; STONE, L. F. (Ed.). **Marco referencial integração lavoura-pecuária-floresta**. Brasília, DF: Embrapa, 2011. 130 p.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; MARTÍNEZ, G. B. Contribuições dos Sistemas de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta (ILPF) para uma Agricultura de Baixa Emissão de Carbono. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, p. 1163-1175, 2011.

BALISCEI, M. A.; BARBOSA, O. R.; SOUZA, W.; COSTA, M. A. T.; KRUTZMANN, A.; QUEIROZ, E. O. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 35, n. 1, p. 49-56, 2013.

BROOM, D. M.; GALINDO, F. A.; MURGUEITIO, E. Sustainable, eficiente livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 280, p. 1-9, 2013.

FOLEY, J. A. et al. Solutions for a cultivated planet. **Nature**, v. 478, p. 337-342, 2011.

GARCIA, A. R.; MATOS, L. B.; LOURENÇO JUNIOR, J. de B.; NAHÚM, B. de S.; ARAÚJO, C. V. de; SANTOS, A. X. Variáveis fisiológicas de búfalas leiteiras criadas sob sombreamento em sistemas silvipastoris. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, p. 1409-1414, 2011.

GONTIJO NETO, M. M.; VIANA, M. C. M.; ALVARENGA, R. C.; SANTOS, E. A.; SIMÃO, E. P. CAMPANHA, M. M. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Minas Gerais. **Boletim de Indústria Animal**, v. 71, n. 2, p.183-191, 2014.

HERRERO, M.; THORNTON, P. K.; NOTENBAERT, A. M.; WOOD, S.; MSANGI, S.; FREEMAN, H. A.; BOSSIO, D.; DIXON, J.; PETERS, M.; STEEG, J. V.; LYNAM, J.; PARTHASARATHY RAO, P.; MACMILLAN, S.; GERARD, B.; MCDERMOTT, J.; SERÉ, C.; ROSEGRANT, M. Smart investments in sustainable food production: revisiting mixed crop-livestock systems. **Science**, v. 327, p. 822-825, 2010.

KARVATTE JUNIOR, N.; KLOSOWSKI, E. S.; ALMEIDA, R. G. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, p. 1933-1941, 2016.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478 p.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JR., M. J.; GALLO, P. B. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 3, p. 256-264, 2007.

SILVA, L. L. G. G.; RESENDE, A. S.; DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; AZEVEDO, B. C.; VIEIRA, M. S.; COLOMBARI, A. A.; TORRES, A. Q. A.; MATTA, P. M.; PERIN, T. B.; MIRANDA, C. H. B.; FRANCO, A. A. Avaliação de conforto térmico em sistema silvipastoril em ambiente tropical. **Archivos Latinoamericanos de Producción Animal**, v. 18, n. 3-4, p. 87-95, 2010.

SMITH, P. Malthus is still wrong: we can feed a world of 9-10 billion, but only by reducing food demand. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 74, p. 187-190, 2015.

SOARES, A. B.; SARTOR, L. R.; ADAMI, P. F.; VARELLA, A. C.; FONSECA, L.; MEZZALIRA, J. C. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 3, p. 443-451, 2009.

SOUZA, W.; BARBOSA, O. R.; MARQUES, J. A.; GASPARINO, E.; CECATO, U.; BARBERO, L. M. Microclimate in silvipastoral systems with eucalyptus in rank with different heights. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n. 3, p. 685-694, 2010.

TILMAN, D.; BALZER, C.; HILL, J.; BEFORT, B. L. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 108, n. 50, p. 20260-20264, 2011.

ARTIGO 1

VARIABILIDADE MICROCLIMÁTICA EM SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (ILPF)

[Revista Brasileira de Climatologia]

RESUMO

Os sistemas ILPF podem alterar o microclima, devido ao sombreamento causado pelas árvores. Assim, objetivou-se quantificar as alterações no microclima em diferentes posições em sistema ILPF de 49 m entre renques, composto por eucalipto, plantados no sentido leste-oeste, em experimento conduzido na Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop/MT. Utilizou-se médias horárias das 8h às 16h00 de temperatura média (Tmed) e máxima (Tmax) do ar, umidade relativa do ar média (Urmed) e mínima (Urmin), transmissão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e velocidade do vento (Vv) de março de 2014 a março de 2015, e de setembro de 2017 a setembro de 2018, por meio de estações meteorológicas, distribuídas sob o renque (ILPF_{renque}), a 24,5 m (ILPF_{24,5m}), a 12,25 m (ILPF_{12,25S}) na face sul e norte (ILPF_{12,25N}) do renque e a pleno sol (PS). Aplicou-se teste de médias e análise multivariada. A transmissão de RFA foi menor no ILPF_{renque}, variando de 28% no outono a 45% no inverno. O ILPF_{12,25S} obteve as maiores transmissões na primavera e verão, enquanto o ILPF_{12,25N}, no outono e inverno. As Tmed e Tmax foram similares ao PS, exceto no ILPF_{renque}. A Urmed foi maior no ILPF_{renque} em todas as estações do ano no período 2014/2015. A Vv no ILPF_{12,25N} foi estatisticamente igual ao PS no verão, outono e inverno, enquanto o ILPF_{12,25S} apresentou as menores médias. A análise multivariada distinguiu as posições avaliadas, com exceção do PS e ILPF_{12,25N}, cuja Tmed e RFA foram responsáveis pelas semelhanças entre os mesmos. Portanto, sistemas ILPF promovem alterações espaço-temporais no microclima, com melhoria principalmente abaixo e na face sul do renque, no outono e inverno. As maiores alterações foram referentes à transmissão de RFA nas faces norte e sul do renque, sendo dependente da distância do renque e da estação do ano, em decorrência da declinação solar nas condições de Sinop/MT.

PALAVRAS-CHAVE: Microclima; Temperatura do ar; Umidade Relativa do ar; Radiação fotossinteticamente ativa.

MICROCLIMATE VARIABILITY IN INTEGRATED CROP-LIVESTOCK-FOREST (ICLF) SYSTEMS

ABSTRACT

ICLF systems can alter the microclimate due to the shading caused by the trees. Thus, the objective was to quantify the microclimate changes at different positions in a 49m ICLF system between rows, composed by eucalyptus, planted in the east-west direction, in an experiment conducted at Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop/MT. Hourly averages from 8am to 4pm were used for average (Ta) and maximum (Tmax) air temperatures, average (Rh) and minimum (Rhmin) relative humidity, photosynthetically active radiation (PAR) transmission and wind speed (Ws) from March 2014 to March 2015 and from September 2017 to September 2018, through meteorological stations distributed under the row (ICLF_{row}), at 24.5m (ICLF_{24.5m}), at 12.25m (ICLF_{12.25S}) on the south face and north face (ICLF_{12.25N}) of the row and in full sun (Fs). A means test and multivariate analysis were applied. PAR transmission was lower in ICLF_{row}, ranging from 28% in the autumn to 45% in the winter. ICLF_{12.25S} had the highest transmissions in spring and summer, while ICLF_{12.25N} in the autumn and winter. Ta and Tmax were similar on Fs, except for ICLF_{row}. Rh was larger in ICLF_{row} in all seasons on the period of 2014/2015. The Ws in ICLF_{12.25N} was statistically equal to Fs in summer, autumn and winter, while ICLF_{12.25S} presented the lowest averages. Multivariate analysis distinguished the positions evaluated, except for Fs and ICLF_{12.25N}, whose Ta and PAR were responsible for their similarities. Therefore, ICLF systems promote spatiotemporal changes in the microclimate, with improvement mainly

below and on the south face of the row in autumn and winter. The largest alterations were related to the PAR transmission on the north and south faces of the row, being dependent on the distance from the row and the season of the year, due to solar declination under Sinop/MT conditions.

KEYWORDS: Microclimate; Air temperature; Relative humidity; Photosynthetically active radiation.

VARIABILIDAD MICROCLIMÁTICA EN LOS SISTEMAS DE INTEGRACIÓN AGRÍCOLA-GANADERA-FORESTAL (IAGF)

RESUMEN

Los sistemas de IAGF pueden cambiar el microclima debido al sombreado causado por los árboles. Así, se objetó cuantificar los cambios en el microclima en diferentes posiciones en sistema IAGF de 49 m entre líneas, compuesto por eucalipto, plantados en el este-oeste, en experimento realizado en el Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop/MT. Se utilizaron medias horarias de 8h a 16h00 de temperatura media (Tmed) y máxima (Tmax) del aire, humedad relativa del aire media (Hrmed) y mínima (Hrmin), transmisión de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) y velocidad del viento (Vv) de marzo de 2014 a marzo de 2015, y de septiembre de 2017 a septiembre de 2018, por medio de estaciones meteorológicas, distribuidas bajo el líneas (IAGF_{líneas}), a 24,5 m (IAGF_{24,5m}), a 12,25 m (IAGF_{12,25S}) en la cara sur y norte (IAGF_{12,25N}) del líneas y a pleno sol (PS). Se aplicó prueba de promedios y análisis multivariado. La transmisión de RFA fue menor en IAGF_{líneas}, variando de un 28% en otoño a un 45% en invierno. El IAGF_{12,25S} obtuvo las mayores transmisiones en primavera y verano, mientras que el IAGF_{12,25N}, en otoño e invierno. Las Tmed y Tmax fueron similares al PS, excepto en IAGF_{líneas}. Hrmed fue mayor en IAGF_{líneas} en todas las estaciones del año en el período 2014/2015. La Vv en IAGF_{12,25N} fue estadísticamente igual a la PS en verano, otoño e invierno, mientras que IAGF_{12,25S} presentó las menores medias. El análisis multivariado distinguió las posiciones evaluadas, con excepción del PS e IAGF_{12,25N}, cuya Tmed y RFA fueron responsables de las similitudes entre los mismos. Por lo tanto, los sistemas IAGF promueven cambios espacio-temporales en el microclima, con mejora principalmente por debajo y en la cara sur de las líneas, en otoño e invierno. Los cambios más importantes se refieren a la transmisión de RFA en las caras norte y sur de las líneas, siendo dependiente de la distancia de las líneas y de la estación del año, como consecuencia de la declinación solar en las condiciones de Sinop/MT.

PALABRAS CLAVE: Microclima; Temperatura del aire; Humedad relativa del aire; Radiación fotosintéticamente activa.

1. INTRODUÇÃO

A produção pecuária é uma das atividades antrópicas mais importantes na mudança ambiental, por estar relacionada ao desmatamento e à perda de biodiversidades e de serviços ecossistêmicos (VAN OUDENHOVEN et al. 2012). Por isso, para atender a demanda da sociedade cada vez mais exigente e criteriosa, tem-se a necessidade de produzir de forma menos impactante para o meio ambiente, diversificando a produção, seja em sucessão ou em consórcio com outras culturas (KICHEL et al., 2012).

A diversificação de culturas numa área é tão antiga quanto a domesticação de animais e plantas. No entanto, com a premissa de haver sinergismo entre os componentes do sistema, de forma deliberada é recente (CARVALHO et al., 2014), como no caso dos sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF). Esses sistemas integram atividades agrícolas, pecuárias e florestais, numa mesma área, em consórcio, rotação ou sucessão, visando sinergia, produção sustentável, adequação ambiental e viabilidade econômica (BALBINO; BARCELLOS; STONE, 2011).

A ILPF promove melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, aumento da ciclagem e eficiência na utilização dos nutrientes, redução da pressão por abertura de novas áreas, diversificação e estabilização da renda na propriedade rural (GONTIJO NETO et al., 2014).

A mudança de uso do solo interfere no comportamento climático local (GOMES et al., 2015). Assim, a introdução do componente florestal em áreas de pastagem reduz a radiação solar incidente sobre o capim, podendo diminuir a temperatura e aumentar a umidade do ar, e conseqüentemente, reduzir a taxa de evapotranspiração da forrageira (BERNARDINO; GARCIA, 2009), cuja modificação do microclima está relacionada às características morfológicas e densidade florestal (SCHUMACHER; POGGIANI, 1993).

A arborização promove alterações no regime térmico e na umidade relativa do ar (BARBOSA et al., 2015; PEZZOPANE et al., 2010; VON ARX; DOBBERTIN; REBETEZ, 2012;), cujo sombreamento proporcionado pelas árvores é uma barreira contra a radiação solar (OLIVEIRA et al., 2017). O efeito combinado da temperatura, umidade, radiação solar e velocidade do vento influencia o conforto animal (OLIVEIRA et al., 2017; SOUZA et al., 2010a) e o desenvolvimento das plantas (CARLESSO; ROSA; PETRY, 2007).

Algumas pesquisas já foram realizadas com o intuito de caracterizar o microclima em sistemas produtivos em vários locais no Brasil, como de café arborizado (PEZZOPANE et al., 2010; PEZZOPANE et al., 2011) e sistemas silvipastoris (BALISCEI et al., 2013; PEZZOPANE et al., 2015; SOUZA et al., 2010a). No entanto, pesquisas nesse âmbito ainda são incipientes no Bioma de transição Cerrado/Floresta Amazônica, por isso a necessidade de caracterizar o microclima, pois um dos desafios em sistema ILPF é alcançar a quantidade de sombra adequada aos demais componentes (OLIVEIRA et al., 2017).

Karvatt Junior et al. (2016) constataram que a presença de árvores proporciona alterações no microclima, principalmente quanto ao bloqueio da radiação solar, causando reduções na temperatura do ar e do globo negro e aumento da umidade relativa do ar à sombra. Por outro lado, Oliveira et al. (2017) não encontraram diferenças de temperatura do ar entre sistemas ILPF e a pleno sol, pois as árvores são barreiras contra a radiação térmica, e não ao calor, por isso, não há alteração (SOUZA et al., 2010b).

Souza et al. (2010a) verificaram que as árvores não alteram a temperatura e umidade relativa do ar, exceto a temperatura às 10h00 e às 18h00, mas constataram que a velocidade do vento é reduzida. Essa diminuição também foi observada por Soares et al. (2009), Pezzopane et al. (2015) e Baliscei et al. (2012).

No ecótono Cerrado/Amazônia, Magalhães et al. (2018) verificaram que renques triplos e simples, espaçados 30 e 37 metros, respectivamente, alteram a transmissão de RFA nos locais mais próximos do renque (face sul ou norte), sendo dependente da altura das árvores, largura e espaçamento dos renques, latitude local, época do ano e hora do dia.

Motivados em investigar as alterações que o componente florestal promove no microclima e se elas são quantitativamente diferentes em função da distância das árvores, essa pesquisa foi elaborada, haja vista a influência que o microclima exerce sobre o conforto térmico dos animais e conseqüentemente, na produtividade pecuária. Diante disso, o objetivo deste trabalho é quantificar as alterações espaço-temporais no microclima de um sistema ILPF no ecótono Cerrado/Floresta Amazônica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Embrapa Agrossilvipastoril, localizada no município de Sinop/MT, ecótono Cerrado/Floresta Amazônica (ARAUJO et al., 2009), coordenadas 11°51' Sul e 55°37' Oeste, com 384 m de altitude. A área experimental possui 50 ha e está instalada sobre Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (SANTOS et al., 2013) de relevo plano. O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw (tropical com verão chuvoso), cujo período chuvoso ocorre de outubro a abril e seco de maio a setembro, com temperatura média anual de 24,7 °C e precipitação média anual de 1974 mm (SOUZA et al., 2013).

A área experimental é constituída por pastagem a pleno sol (PS) e sistema ILPF com renques duplos de eucalipto localizados nas bordas laterais do piquete, espaçamento 3 x 2 m e 49 m entre renques (ILPF49m) com densidade de 192 árvores ha⁻¹. Em junho de 2014, as árvores estavam com altura média de 16 m (MASCHERONI, 2015).

O experimento foi estabelecido em fevereiro de 2011, com a implantação de eucalipto - clone H13 (*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *E. grandis* (Hill) ex Maiden) no sentido Leste-Oeste. O sistema foi delimitado de maneira que dois quadrantes fossem

ocupados com o componente agrícola e dois, com o pecuário (pastagem), permanecendo por dois anos, para então haver rotação entre lavoura e pastagem nos quadrantes, visando atender a demanda de alimentos aos animais do experimento.

Dessa forma, foram mantidos 10 ha de lavoura de primeiro ano [milho consorciado com *Urochloa ruziziensis* Germain & Evrard, para ensilagem na safra e feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na safrinha]; 10 ha de lavoura de segundo ano [milho consorciado com capim-piatã (*U. brizantha* cv. BRS Piatã) na safra e permanência do capim-piatã na safrinha]; 10 ha de pastagem de capim-piatã de primeiro ano; e 10 ha de pastagem de capim-piatã de segundo ano (COLETTI, 2016). Atualmente o sistema é composto pelo componente pecuário e florestal.

Estações meteorológicas foram instaladas em dezembro de 2013 para monitorar o microclima em um quadrante do experimento ILPF Leite, posicionadas em função da posição nas faces norte e sul dos renques, para verificar o comportamento da transmissão da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) ao longo do ano, tendo em vista que a transmissão de radiação depende do ângulo de incidência da radiação solar, que é em decorrência da posição do sol na abóbada celeste, sendo dependente da latitude local, da época do ano e da hora do dia, além das características do componente arbóreo (SILVA, 2006).

As avaliações microclimáticas foram realizadas em quatro posições de medida, na forma de um transecto entre dois renques: sob o renque (ILPF_{renque}), a 12,25 m da face sul (ILPF_{12,25S}) e face norte do renque (ILPF_{12,25N}) e a 24,5 m, sendo o centro do entre renque (ILPF_{24,5m}). No pleno sol (PS), as avaliações foram feitas em uma única posição no centro da parcela (Figura 1).

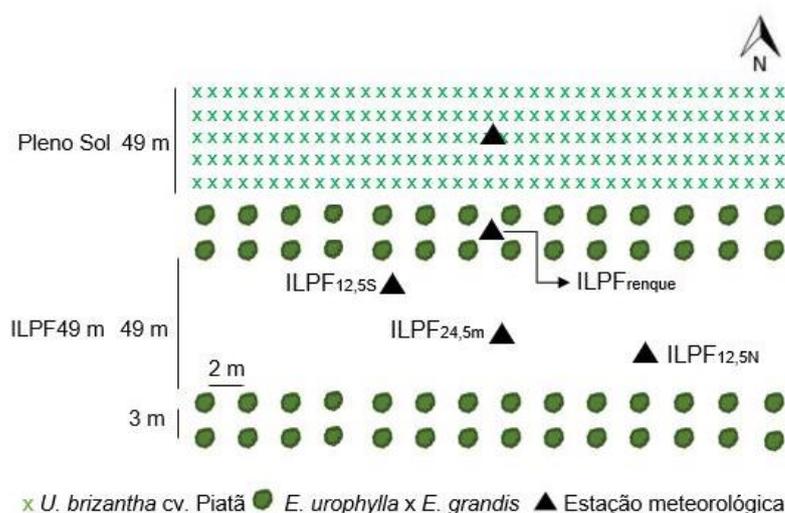


Figura 1 - Posições espaciais de coleta de dados do microclima a pleno sol (PS) e no ILPF49m do experimento ILPF Leite da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop/MT.

No município de Sinop/MT, no dia 22 de dezembro (solstício de verão), o sol está em sua posição máxima ao sul, formando um ângulo zenital máximo na direção sul de aproximadamente 11° ao meio-dia. No inverno, no dia 21 de junho (solstício de inverno) o sol está em sua posição máxima ao norte, com um ângulo zenital máximo na direção norte de aproximadamente 35° ao meio-dia. Nos dias 20/02 e 20/10, o sol atinge o zênite (ângulo zenital igual a zero) ao meio-dia. Dessa forma, na latitude local ($11^\circ 51'S$), o sol permanece voltado para o sul entre 20/10 e 20/02 e para o norte entre 20/02 e 20/10 (MAGALHÃES et al., 2018).

Foram utilizados sensores específicos acoplados aos sistemas automáticos de aquisição de dados ("Datalogger") programados para leituras a cada 5 segundos e obtenção dos valores médios horários de RFA, temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

Para avaliação do microclima, foram selecionados dados das 8h00 às 16h00 de dois períodos, sendo de março de 2014 a março de 2015 (2014/2015), e setembro de 2017 a

setembro de 2018 (2017/2018) do ILPF49m e do PS. Para as análises, utilizou-se as médias horárias da temperatura média (Tmed), umidade relativa média (Urmed), radiação fotossinteticamente ativa (RFamed), velocidade do vento (Vvmed), temperatura máxima (Tmax) diária, e umidade relativa mínima (Urmin) ocorrida no intervalo das 8h às 16h00, de cada estação do ano.

Para avaliar se houve diferença entre os períodos de coletas de dados, realizou-se a comparação entre 2014/2015 e 2017/2018 para cada variável microclimática e posição de coleta no ILPF49m e a PS. A comparação da umidade relativa não foi calculada no verão e outono, devido a falhas no equipamento no período 2017/2018.

Os dados foram submetidos ao teste de comparações múltiplas de Tukey a 5% de probabilidade utilizando 2000 reamostragens via *bootstrap*, sendo utilizado o programa de análise estatística Sisvar versão 5.6.86 (FERREIRA, 2014).

Para as análises multivariadas foi verificada a existência de valores enganosos (valores extremos multivariados) e aplicada a hipótese de normalidade multivariada. Aplicou-se os seguintes métodos estatísticos multivariados: análise de agrupamento hierárquico (Dendograma) e não hierárquico (K-média) e análise de componentes principais (PCA) utilizando o software Statistica.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análise univariada do microclima

A média de RFA a PS variou de 803 (dezembro) a 1001 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (agosto) no primeiro período avaliado e de 732 (dezembro) a 1023 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (agosto) no segundo período. Essa variação na incidência de RFA pode ter sido em função do movimento aparente do sol e da estação do ano (ELOY et al., 2012), em que outono e inverno receberam maior radiação solar a PS, devido ao aumento do ângulo zenital no hemisfério sul neste período do ano (Tabela 1).

A média de RFA a PS apresentou diferença significativa entre 2014/2015 e 2017/2018, com exceção do verão (Tabela 1). O período correspondido entre 2017 e 2018 apresentou menores médias de RFA, o que pode ser em decorrência do crescimento das árvores e consequentemente, maior área sombreada entre os renques.

O renque de eucalipto interceptou grande parte da radiação no ILPF_{renque}, cuja transmissão de RFA variou entre 28% (outono de 2014/2015) e 45% (inverno de 2014/2015). Embora a interceptação tenha sido mais acentuada sob o renque, nas posições do entre renques, a menor transmissão foi 56%, no outono e inverno do período de 2017/2018 no ILPF_{12,25S}, ou seja, grande parte da RFA consegue atravessar atingir o sub-bosque.

Tabela 1 - Médias de 8 às 16h00 de radiação fotossinteticamente ativa (RFA, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) a pleno sol (PS) e médias de transmissão de RFA (%) por estação do ano e por período em diferentes posições no sistema de ILPF, Sinop/MT.

Período	RFA PS	ILPF _{renque}	ILPF _{12,25S}	ILPF _{24,5m}	ILPF _{12,25N}
Transmissão de RFA (%)					
Primavera					
2014/2015	893 A	42 A d	111 A a	99 A c	104 A b
2017/2018	829 B	33 B c	101 B a	95 B b	95 B b
Verão					
2014/2015	879 A	30 A d	114 A a	103 A c	109 A b
2017/2018	841 A	29 B c	107 B a	95 B b	95 B b
Outono					
2014/2015	937 A	28 B d	87 A c	97 A b	108 B a
2017/2018	852 B	35 A d	56 B c	91 B b	109 A a
Inverno					
2014/2015	965 B	45 A d	82 A c	99 A b	110 A a
2017/2018	1028 A	32 B d	56 B c	89 B b	106 B a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade pelo método de *bootstrap*.

A transmissão da RFA é dependente da altura das árvores, da largura, orientação e distância entre os renques, como também do ângulo de incidência da radiação, em decorrência do movimento aparente do sol, da latitude local e da estação do ano (PEZZOPANE et al., 2010; SILVA, 2006). Isso foi verificado no presente estudo, em que houve diferença de transmissão tanto entre as estações do ano, quanto entre as posições de avaliação microclimática e os períodos avaliados.

Lulu; Magalhães; Zolin (2019a) verificaram que em renques de linhas simples espaçados de 37 m há maior sombreamento na face sul, a partir de março, estendendo-se até o final do ano, quando ocorre a inversão de transmissão de RFA. No ILPF49m, foi verificada redução da transmissão de RFA no ILPF_{12,25S} em relação às demais posições no outono e inverno, o que também foi observado por Lulu; Magalhães; Zolin (2019b).

Comportamento semelhante também foi verificado por Magalhães et al. (2018) em renques triplos, espaçados 30 m entre si no ecótono Cerrado/Amazônia, cuja transmissão de RFA foi menor próximo à face sul do renque no outono e inverno, e menor na face norte do renque na primavera e verão.

Esse maior sombreamento é desejável para o conforto térmico do gado leiteiro, contudo, para a produção de capim e culturas agrícolas, pode não ser (LULU; MAGALHÃES; ZOLIN, 2019b), afetando a produtividade das pastagens (PEZZOPANE et al., 2019). Segundo Paciullo et al. (2007), interceptação de RFA acima de 30% pode interferir no desempenho produtivo das gramíneas. Valores excedendo este limite foram verificados no outono e inverno de 2017/2018 no lado sul do renque.

O conhecimento da variação na distribuição da radiação solar no entre renques e no sub-bosque de sistemas ILPF é importante no manejo dos componentes agrícola, pecuário (pastagem) e florestal (OLIVEIRA, 2005), com vistas a maximizar a produtividade do sistema (ANDRADE et al., 2002). Manejo como desramas, desbastes ou remoção de linhas alternadas otimizam a incidência de radiação solar global e de RFA no sistema (PENG et al., 2015; PORFÍRIO-DA-SILVA et al., 2004), além de gerar renda através da venda da madeira. Adicionalmente, essas práticas promovem maiores ganhos em volume e evitam problemas de qualidade da madeira (nós).

A Tmed na primavera foi similar em todas as posições avaliadas, apresentando diferença significativa apenas no ILPF_{renque} (Tabela 2). No verão de 2014/2015 a maior média de temperatura foi observada nos ILPF_{12,25S} e ILPF_{24,5m} (28,4 °C). No outono e no inverno, o ILPF_{24,5m} e o ILPF_{12,25N} apresentaram as maiores médias, sendo que no outono do período 2017/2018 e inverno dos dois períodos, foram iguais ao PS. Isso pode ter sido devido a maior distância do renque, para o ILPF_{24,5m} e à maior quantidade de radiação atingida no ILPF_{12,25N} nesses períodos do ano.

Tabela 2 - Média de 8 às 16h00 de temperatura média e máxima do ar (°C) por estação do ano e por período em diferentes posições no sistema de ILPF e a pleno sol (PS), Sinop/MT.

Período	PS	ILPF _{renque}	ILPF _{12,25S}	ILPF _{24,5m}	ILPF _{12,25N}
Temperatura média (°C)					
Primavera					
2014/2015	29,8 A a	28,3 A b	29,5 A a	29,8 A a	29,6 A a
2017/2018	28,9 B a	28,2 A b	28,8 B a	29,0 B a	28,7 B a
Verão					
2014/2015	28,1 A ab	27,0 A c	28,4 A a	28,4 A a	28,0 A b
2017/2018	27,6 B a	26,9 A b	27,7 B a	27,8 B a	27,5 B a
Outono					
2014/2015	28,7 A ab	28,0 A c	28,4 A b	28,8 A a	28,8 A a
2017/2018	28,3 B a	27,6 B b	27,7 B b	28,4 B a	28,4 B a
Inverno					
2014/2015	31,4 A a	29,7 B c	30,8 A b	31,4 A a	31,4 A a
2017/2018	31,8 A a	30,8 A b	30,9 A b	31,5 A a	31,6 A a
Temperatura máxima (°C)					
Primavera					

continua

continuação					
Período	PS	ILPF _{renque}	ILPF _{12,25S}	ILPF _{24,5m}	ILPF _{12,25N}
2014/2015	32,8 A ^{ns}	31,6 A ^{ns}	32,4 A ^{ns}	32,7 A ^{ns}	32,5 A ^{ns}
2017/2018	31,9 A ^{ns}	30,9 A ^{ns}	31,7 A ^{ns}	31,9 A ^{ns}	31,8 A ^{ns}
Verão					
2014/2015	31,2 A a	29,5 A b	31,4 A a	31,4 A a	31,0 A a
2017/2018	30,4 B a	29,3 A b	30,5 B a	30,6 B a	30,4 A a
Outono					
2014/2015	31,4 A a	30,5 A b	30,8 A ab	31,4 A a	31,4 A a
2017/2018	31,4 A a	30,4 A b	30,4 A b	31,2 A ab	31,3 A a
Inverno					
2014/2015	34,5 B a	33,7 A b	33,8 A b	34,5 A a	34,5 A a
2017/2018	35,2 A a	34,1 A bc	34,1 A c	34,7 A abc	35,0 A ab

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade pelo método de *bootstrap*.

Analogamente à RFA na comparação entre os períodos de coleta de dados, a Tmed apresentou menores médias no período de 2017/2018 para a maioria das estações do ano e posições de medidas, conforme Tabela 2. Essa redução de temperatura favorece o conforto térmico animal e conseqüentemente, melhora o desempenho animal (SILVA, 2000).

A Tmax não apresentou diferença estatística na primavera ($p > 0,05$). No verão, apenas o ILPF_{renque} foi estatisticamente diferente das demais posições. No outono, o ILPF_{renque} permaneceu com a menor média de Tmax sendo igual ao ILPF_{12,25S} no período 2017/2018 e com valor intermediário entre as posições no período 2014/2015. No inverno, o ILPF_{renque} e o ILPF_{12,25S} também apresentaram as menores médias (Tabela 2).

Esses valores mostram que, quando a face sul recebe menos radiação, há reflexos na diminuição da Tmax. Em sistema de integração com café e grevilea, as reduções foram mais evidentes próximo às árvores (PEZZOPANE et al., 2011). Por outro lado, a incidência de radiação semelhante ao PS, associada à menor movimentação do ar também pode ter interferido nos valores de Tmax (PEZZOPANE et al., 2003), o que fez com que a temperatura do ar em sistema de ILPF fosse igual ao PS.

Em relação aos dois períodos de coleta, apenas verão e inverno apresentaram diferença de Tmax, sendo que no inverno a PS, o período 2017/2018 apresentou maior média. No verão, a Tmax a PS, no ILPF_{12,25S} e no ILPF_{12,25N} foi menor no período 2017/2018 (Tabela 2), mostrando uma tendência na redução da temperatura média e máxima conforme a idade do sistema ILPF, o que pode ser devido ao crescimento em altura das árvores de eucalipto, e conseqüentemente maior sombreamento do sistema.

Segundo Vieira Junior et al. (2019), mudanças na quantidade de radiação incidente no sistema em decorrência da sazonalidade ou interceptação pelo componente florestal, estão diretamente associados à variação de temperatura entre as posições de avaliação. De maneira geral, o ILPF interferiu na temperatura média e máxima do ar, principalmente abaixo da copa do eucalipto (ILPF_{renque}), apresentando também diminuição no ILPF_{12,25N} no verão, e no ILPF_{12,25S} no outono e inverno, tanto para temperatura média, quanto para a máxima.

Salvo essas exceções, a temperatura nas posições do entre renque foi igual ao PS. Baliscai et al. (2013), em condições climáticas diferentes, também não encontraram diferença significativa de temperatura do ar entre um sistema ILPF composto por renques duplos de eucalipto e pastagem a pleno sol.

De maneira geral, a Urmed sob o renque foi maior em todas as estações do ano, exceto na primavera e no inverno do período 2017/2018, cujas maiores médias foram observadas a PS (Tabela 3). Esse ligeiro aumento da umidade relativa em área sombreada também foi observado por Vieira Junior et al., (2019) em sistema de ILPF no sul do Brasil. Maiores valores de umidade no centro do entre renques também foram observados por Pezzopane et al. (2015); segundo os autores tal fato se deve à menor remoção do ar nessa distância do renque.

Tabela 3 - Médias de 8 às 16h00 de umidade relativa média e mínima do ar (%) por estação do ano e por período em diferentes posições no sistema de ILPF e a pleno sol (PS), Sinop/MT.

Período	PS	ILPF _{renque}	ILPF _{12,25S}	ILPF _{24,5m}	ILPF _{12,25N}
Umidade relativa média do ar (%)					
Primavera					
2014/2015	59,7 B b	64,5 A a	60,2 A b	59,4 B b	60,3 A b
2017/2018	67,8 A a	65,6 A a	45,8 B c	64,1 A ab	54,6 B bc
Verão					
2014/2015	74,4 a	73,5 B ab	71,2 c	71,3 B c	72,0 bc
Outono					
2014/2015	64,6 ^{ns}	65,7 B ^{ns}	65,4 ^{ns}	64,3 A ^{ns}	64,4 ^{ns}
Inverno					
2014/2015	37,9 B b	42,6 A a	39,0 B b	37,6 A b	38,3 A b
2017/2018	45,9 A a	35,5 B c	41,6 A b	33,4 B c	25,3 B d
Umidade relativa mínima do ar (%)					
Primavera					
2014/2015	47,1 A ^{ns}	49,8 A ^{ns}	47,8 A ^{ns}	46,8 A ^{ns}	47,8 A ^{ns}
2017/2018	51,6 A ^{ns}	53,6 A ^{ns}	30,2 A ^{ns}	51,2 A ^{ns}	41,6 B ^{ns}
Verão					
2014/2015	61,2 ^{ns}	61,7 A ^{ns}	58,8 ^{ns}	58,9 A ^{ns}	59,5 ^{ns}
Outono					
2014/2015	52,9 ^{ns}	54,3 A ^{ns}	54,0 ^{ns}	52,8 A ^{ns}	53,2 ^{ns}
Inverno					
2014/2015	26,9 B ^{ns}	28,5 A ^{ns}	28,0 A ^{ns}	26,7 A ^{ns}	27,5 A ^{ns}
2017/2018	34,1 A a	24,8 B bc	29,0 A b	23,3 B c	17,0 B d

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade pelo método de *bootstrap*.

A Urmin do ar não apresentou diferença estatística entre as posições no período de 2014/2015 e na primavera e inverno do período de 2017/2018, acompanhou o mesmo comportamento da Urmed (Tabela 3). Pezzopane; Pedro Jr; Gallo (2007) constataram que não houve variações na umidade relativa quando compararam os cultivos consorciados com o pleno sol. Segundo Vieira Junior et al. (2019), é difícil encontrar variações de umidade entre o sistema ILPF e o PS, pois a advecção do vento pode afetar esta variável, devido ao transporte horizontal de vapor d'água.

No verão de 2014/2015, a Urmed foi estatisticamente igual no ILPF_{12,25S} e ILPF_{24,5m}, tendo os menores valores. Na primavera de 2017/2018, a Urmed foi menor no ILPF_{12,25S}. No inverno do período 2017/2018, a Urmed e a Urmin foram menores no ILPF_{12,25N}. Os menores valores observados foram reflexo da maior RFA e temperatura do ar na face sul e norte do renque e centro do entre renques nos períodos citados.

Houve aumento da umidade relativa do ar sob o renque em praticamente todas as estações do ano, o que também foi verificado por Vieira Junior et al. (2019) em área sombreada. Comparando-se os períodos avaliados, percebe-se a influência do sistema ILPF na umidade relativa do ar, pois em 2017/2018 a umidade relativa média e mínima foram maiores na maioria das posições e estações do ano analisadas, o que pode ter ocorrido devido a maior altura das árvores e área sombreada, mantendo maior umidade no sistema.

A velocidade média do vento no ILPF_{12,25N} se assemelhou ao PS no verão de 2014/2015 e outono de 2017/2018. Na primavera de 2014/2015, o ILPF_{12,25S} apresentou velocidade média do vento maior que as demais posições. No verão de 2017/2018, outono e inverno de 2014/2015 foi maior a PS. No inverno de 2017/2018 foi maior no ILPF_{12,25N} (Tabela 4).

Tabela 4 - Médias de 8 às 16h00 de velocidade do vento média (m s^{-1}) por estação do ano e por período em diferentes posições no sistema de ILPF e a pleno sol (PS), Sinop/MT.

Período	PS	ILPF _{12,25S}	ILPF _{12,25N}
Velocidade média do ar (m s^{-1})			
Primavera			
2014/2015	1,36 A ab	1,39 A a	1,32 A b
2017/2018	1,09 B ^{ns}	1,07 B ^{ns}	1,05 B ^{ns}
Verão			
2014/2015	0,86 B a	0,74 B b	0,81 A a
2017/2018	0,95 A a	0,81 A b	0,79 A b
Outono			
2014/2015	1,34 A a	1,16 A b	1,17 A b
2017/2018	1,02 B a	0,81 B b	1,03 B a
Inverno			
2014/2015	1,81 A a	1,71 A b	1,67 A b
2017/2018	1,48 B b	1,35 B c	1,54 B a

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade pelo método de *bootstrap*.

Pezzopane et al. (2010), Baliscei et al. (2012) e Oliveira et al. (2017) também constataram que a velocidade média do vento foi menor em sistemas ILPF, quando comparados à pastagem a pleno sol, sendo perceptível o efeito quebra-vento que as árvores proporcionam em diferentes arranjos de ILPF.

Os valores observados principalmente no ILPF_{12,25S} confirmam a afirmação de Brenner (1996) de que a inserção de indivíduos arbustivos ou arbóreos em cultivos agrícolas altera o regime dos ventos sobre as plantas, na escala horizontal, pois os componentes do ILPF alteraram o movimento do ar, devido à rugosidade da superfície (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002), a qual, causa a diminuição da velocidade do vento (MARTINS; GUARNIERI; PEREIRA, 2008), como ocorreu em algumas ocasiões no período estudado.

Em ILPF com menor espaçamento entre renques, Soares et al. (2009) também observaram que a velocidade do vento reduziu no outono, sendo em torno de 51%, em relação ao pleno sol.

No período de 2017/2018, a velocidade do vento foi maior que em 2014/2015 em três estações do ano, com exceção do verão, no entanto, a média da velocidade média não ultrapassou $1,81 \text{ m s}^{-1}$ (inverno) em todo o período avaliado.

Essa atenuação da velocidade do vento pode ser benéfica aos componentes agrícola e pecuário (pastagem), resultando no incremento no rendimento dos mesmos, devido à economia de água, resultado da menor evaporação da água do solo e das plantas, como também, menores danos físicos causados nas folhas (RIBASKY; MONTOYA; RODIGHIERI, 2001). Os ventos de baixas intensidades, transportam vapor d'água sobre a superfície das folhas, o que favorece as trocas gasosas e a sua refrigeração (TAIZ; ZEIGER, 2004).

3.2 Análise multivariada do microclima

O dendograma obtido a partir da análise de agrupamento hierárquico entre as posições de coleta de dados permitiu visualizar quatro grupos distintos de acordo com as variáveis climáticas analisadas, sendo eles: grupo 1: ILPF_{renque}, grupo 2: ILPF_{12,25S}, grupo 3: ILPF_{24,5m} e grupo 4: ILPF_{12,25N+PS} (Figura 2).

A análise Cluster não hierárquica K-média (Figura 3) apresenta a média padronizada das variáveis selecionadas analisadas. Percebe-se que a variável que mais contribuiu para separação dos grupos foi a RF_{med}, onde as menores médias foram verificadas no 1 (ILPF_{renque}) e as maiores no grupo 4 (ILPF_{12,25N+PS}), sendo que o grupo 3 (ILPF_{24,5m}) se aproximou mais do grupo 4, e o grupo 2 (ILPF_{12,25S}) ficou em uma posição intermediária. A Vv_{med} também contribuiu para a separação dos grupos, onde se observa a maior Vv no grupo 3 (ILPF_{24,5m}) e a menor no grupo 2 (ILPF_{12,25S}).

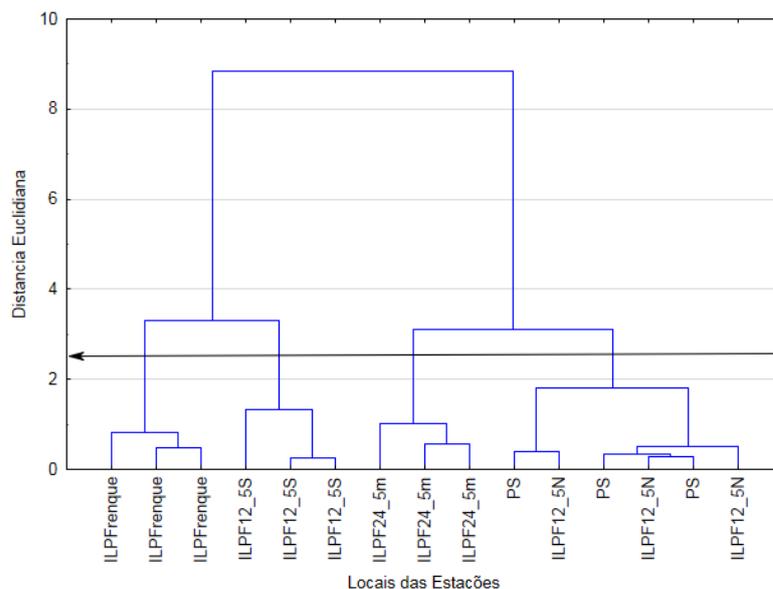


Figura 2 - Dendrograma da análise hierárquica de agrupamentos que mostra a formação de quatro grupos para os locais de coleta de dados, de acordo com as variáveis microclimáticas estudadas.

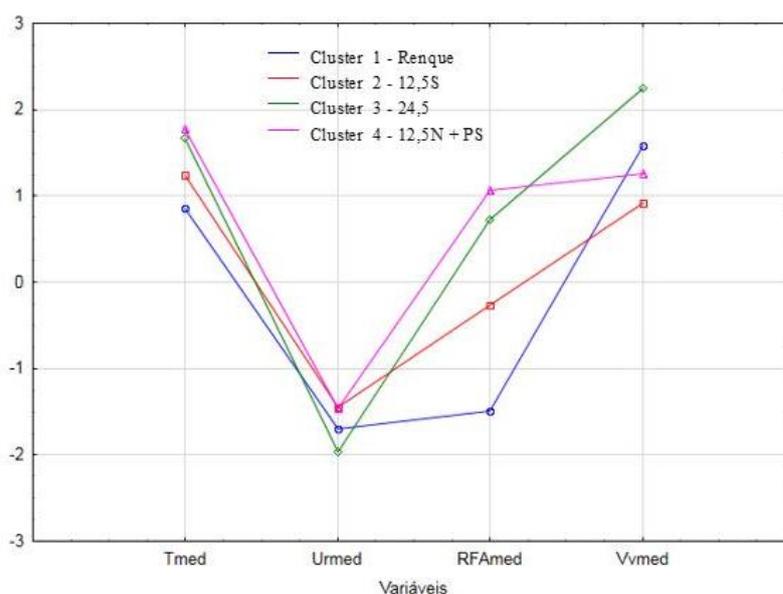


Figura 3 - Médias padronizadas das variáveis microclimáticas estudadas para cada grupo hierárquico.

Segundo Brenner (1996), a radiação é o primeiro elemento a ser modificado pela presença das árvores. Sob os renques duplos de eucalipto, grande parte da radiação solar foi interceptada pela copa das árvores, cuja transmissão de RFA ao sub-bosque ficou abaixo de 50% em todas as estações do ano, conforme Tabela 1. Pezzopane et al. (2015) também observaram diferenças principalmente na incidência de RFA e Vv em um ILPF de 17 m entre renques.

A posição do sol na abóboda celeste, em decorrência de cada estação do ano também pode ter contribuído para a separação dos grupos, pois na latitude de Sinop (11°51'S) o sol permanece voltado para o sul de 20/10 a 20/02 e para o norte de 20/02 a 20/10 (MAGALHÃES et al., 2018), sendo que a partir de janeiro o lado sul começa a receber menos radiação, portanto é mais sombreado que a face norte até o fim do ano (LULU, MAGALHÃES; ZOLIN, 2019b). Esse período de maior exposição da face norte do renque

fez que com o ILPF_{12,25N} e o PS ficassem no mesmo grupo, diferindo do ILPF_{12,25S}, o qual permanece por mais tempo sombreado.

Soares et al. (2009) observaram que a presença de árvores cria zonas de microclima, reduzindo a radiação solar, devido ao sombreadamento (BALISCEI et al., 2013; PORFÍRIO-DA-SILVA et al., 2004), pois parte da radiação que atinge o dossel é refletida, e parte é absorvida pelas copas, para posteriormente ser transmitida ao sub-bosque (WHATLEY; WHATLEY, 1982).

A Vv, por sua vez, foi modificada pela presença dos renques, cuja face sul (ILPF_{12,25S}) apresentou as maiores reduções, decorrente da direção predominante dos ventos no período avaliado, sendo 23% leste, 22% nordeste e 20% norte (EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 2019).

O ILPF_{24,5m} apresentou maior Vv que o PS, o que pode ter sido influenciado pela diferença espacial de temperatura e pela possível canalização do vento para essa posição, aumentando sua Vv. Porfírio-da-Silva (1998) também constatou este comportamento em alguns horários do dia. O autor explicou que o gradiente horizontal de temperatura, decorrente do aquecimento diferenciado causado pelo sombreadamento pode ter provocado brisas advectivas, fazendo com que a Vv fosse maior no centro do entre renques.

A Tabela 5 apresenta os coeficientes de correlação linear entre cada variável e o respectivo componente principal, cuja explicação da variância é 47,18% para o componente principal 1 (PC1), enquanto o segundo componente principal (PC2) foi explicado em 39,48%. Ambos componentes acumulam 86,66% de explicação das variâncias, atendendo ao limite mínimo de 70% da variância total nos dois primeiros componentes, estabelecido por Rencher (2002).

Tabela 5 - Autovalores, quantidade de variação explicada, coeficientes de correlação e autovetores entre as variáveis climáticas nos diferentes locais de avaliação e os dois primeiros componentes principais.

Componentes	PC1	PC2
Autovalores	1,88	1,57
Variância Explicada (%)	47,18	39,49
Variância Acumulada (%)	47,18	86,67
	Correlação (Autovetores)	
Tmed	0,54 (0,13)	0,46 (0,25)
Urmed	-0,56 (0,02)	0,44 (0,05)
RFamed	0,40 (0,01)	0,58 (0,09)
Vvmed	0,48 (0,05)	-0,50 (0,00)
Componentes	PC1	PC2
Interpretação	Temperatura média e umidade relativa média	Radiação Fotossinteticamente Ativa e Velocidade Média do Vento

Assim, pode-se inferir que os maiores coeficientes de correlação, em ordem de importância são: Urmed (-0,56) que contrasta com Tmed (0,54) e para a CP2, RFamed (0,58) em contraste à Vvmed (-0,50). Esses coeficientes de correlação determinam a composição da análise de componentes principais (ACP), demonstrada na Figura 4.

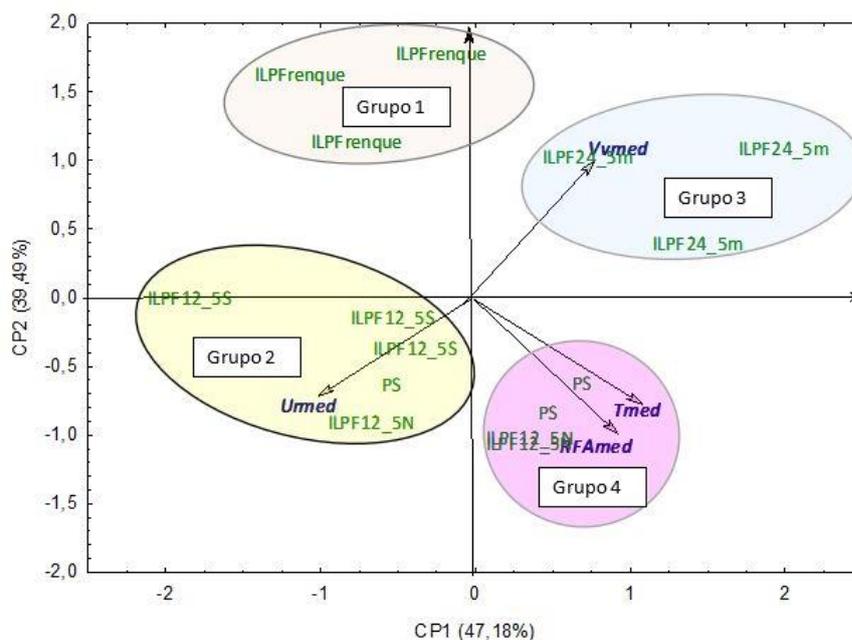


Figura 4 - Representação *biplot* do primeiro e do segundo componente principal (CP) contendo as variáveis climáticas e as posições de medida estudadas no ILPF Leite, Sinop/MT.

A ACP representada pela dispersão amostral no gráfico biplot (Figura 4) destaca quatro agrupamentos distintos, conforme a distância entre as médias, no qual o grupo 1 é composto exclusivamente por ILPF_{renque}, o grupo 2 é composto na sua maioria por ILPF_{12,25S}, o grupo 3 é composto exclusivamente por ILPF_{24,5m}, e o grupo 4 reuni PS + ILPF_{12,25N}.

Das variáveis discriminantes relacionadas ao CP1 (Figura 4 e Tabela 5) destacam-se a Tmed ortogonalmente disposta à Umed com os coeficientes de correlação e vetores significativos. Esses resultados demonstram que a Tmed discriminou fortemente os grupos 1 e 2 dos grupos 3 e 4, sem distinção entre esses dois últimos e a Umed distingue os grupos 1 e 3 dos grupos 2 e 3, sem distinção entre 2 e 3. Em relação a CP2, destacam-se a RFamed ortogonalmente disposta à Vmed com coeficientes de correlação e vetores significativos, assim pode-se notar que estas variáveis contribuíram para distanciar os grupos e ajudar a distinguir os mesmos.

Os maiores valores de Tmed no ILPF_{12,25N}, no PS e no ILPF_{24,5m}, e os menores no ILPF_{12,25S} e ILPF_{renque}, foram reflexos da RFamed incidente em cada posição de medida microclimática, sendo menor sobre o renque e na face sul (ILPF_{12,25S}). Pezzopane et al. (2010) também observaram essa relação entre RFA e a temperatura. A diferença de incidência de RFA entre as posições de medida (Figura 3) mostra a potencial dos renques de eucalipto na interceptação da radiação solar em sistema de ILPF.

4. CONCLUSÃO

A análise univariada permitiu concluir que renques duplos de eucalipto espaçados 49 m entre si promovem variações espaço-temporais do microclima. As árvores proporcionaram melhoria do microclima principalmente abaixo do renque e no ILPF_{12,25S} no outono e no inverno.

As maiores alterações foram referentes à transmissão de RFA na face norte e sul do renque, decorrente da declinação solar e época do ano, causando efeitos na temperatura e umidade relativa do ar. A umidade relativa do ar e a velocidade do vento também sofreram variações espaciais e temporais, embora menos expressivas que a transmissão de RFA.

A análise multivariada possibilitou uma visão holística das alterações microclimáticas no sistema ILPF, distinguindo as posições avaliadas, com exceção do pleno

sol e ILPF_{12,25N}, em que a temperatura e radiação fotossinteticamente ativa foram responsáveis pelas semelhanças entre os mesmos.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação e Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor, e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Agrossilvipastoril pela parceria estabelecida.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, C. M. S. et al. Transmissão de luz em sistema silvipastoril com eucalipto. *Revista Árvore*, v. 26, n. 1, p. 19-23, 2002.

ARAÚJO, R. A. et al. Florística e estrutura de fragmento florestal em área de transição na Amazônia Matogrossense no Município de Sinop. *Acta Amazonica*, v. 39, p. 865-878, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672009000400015>.

BALBINO, L. C.; BARCELLOS, O.; STONE, L. F. (Ed.). *Marco referencial integração lavoura-pecuária-floresta*. Brasília: Embrapa, 2011. 130 p.

BALBINO, L. C. et al. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 46, n. 10, p. i-xii, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2011001000001>.

BALISCEI, M. A. et al. Behavior of beef cattle and the microclimate with and without shade. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 34, n. 4, p. 409-415, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v34i4.15055>.

BALISCEI, M. A. et al. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, v. 35, n. 1, p. 49-56, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v35i1.15155>.

BARBOSA, P. H. D. et al. Variabilidade de elementos meteorológicos e de conforto térmico em diferentes ambientes na Amazônia brasileira. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 17, p. 98-118, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0.43048>.

BERNARDINO, F. S.; GARCIA, R. Sistemas silvipastoris. *Pesquisa Florestal Brasileira*, n. 60, p. 77-87, 2009. Edição especial. DOI: 10.4336/2009.pfb.60.77.

BRENNER, A. J. *Microclimatic modifications in agroforestry*. In: ONG, C. K.; HUXLEY, P. (Ed.). *Tree-crop interactions - A physiological approach*. Cambridge: University Press, 1996.

CARLESSO, R.; ROSA, G. M.; PETRY, M. T. Variáveis meteorológicas e o desenvolvimento dos cultivos agrícolas. In: *Usos e benefícios da coleta de dados meteorológicos na agricultura*. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2007. p. 39-73.

CARVALHO, P. C. F. et al. Definições e terminologias para Sistema Integrado de Produção Agropecuária. *Revista Ciência Agronômica*, v. 45, n. 5, p. 1040-1046, 2014.

COLETTI, A. J. *Cultivo de milho consorciado com capim-piatã em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta*. 2016. 66 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2016.

ELOY, E. et al. Influência do espaçamento na interceptação de radiação do dossel vegetativo de espécies arbóreas. *Enciclopédia biosfera*, v. 8, n. 14, p. 683-691, 2012.

EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL. Estação meteorológica. Dados meteorológicos diários -

estação Embrapa Agrossilvipastoril.xlsx. [Sinop], 2019. 1 Planilha eletrônica. Disponível em:

<https://www.embrapa.br/documents/1354377/2455052/Dados+meteorol%C3%B3gicos+di%C3%A1rios/299f5248-c518-98d7-c2d9-d7f49a794154>. Acesso em: 21 ago. 2019.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. *Ciência e agrotecnologia*, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

GOMES, J. B. et al. Conversão de florestas tropicais em sistemas pecuários na Amazônia: quais as implicações no microclima da região? *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 17, p. 67-81, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v17i0.42879>.

GONTIJO NETO, M. M. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta em Minas Gerais. *Boletim de Indústria Animal*, v.71, n.2, p.183-191, 2014.

KARVATTE JUNIOR, N. et al. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. *International Journal of Biometeorology*, v. 60, p. 1933-1941, 2016. DOI: 10.1007/s00484-016-1180-5.

KICHEL, A. N. et al. Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta e o progresso do setor agropecuário brasileiro. In: BUNGENSTAB, D. J. (Org.). *Sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta: a produção sustentável*. 2. ed. – Brasília: Embrapa, 2012. p. 1-10.

LULU, J.; MAGALHÃES, C. A. S.; ZOLIN, C. A. Microclima em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com foco em gado de corte no norte de Mato Grosso. In: FARIAS NETO, A. L. (Org.). *Embrapa Agrossilvipastoril: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma Agropecuária Sustentável*. – Brasília: Embrapa, 2019a. p. 237-241.

LULU, J.; MAGALHÃES, C. A. S.; ZOLIN, C. A. Microclima em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta com foco em gado de leite no norte de Mato Grosso. In: FARIAS NETO, A. L. (Org.). *Embrapa Agrossilvipastoril: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma Agropecuária Sustentável*. – Brasília, DF: Embrapa, 2019b. p. 327-331.

MAGALHÃES, C. A. S. et al. *Índices de conforto térmico em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no ecótono Cerrado/Amazônia*. – Sinop, MT: Embrapa, 2018. 24 p.

MARTINS, F. R.; GUARNIERI, R. A.; PEREIRA, E. B. O aproveitamento da energia eólica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 30, n. 1, p. 1-13, 2008.

MASCHERONI, J. D. C. *Características estruturais do dossel forrageiro e acúmulo de forragem de Brachiaria brizantha cv. Piatã submetido a regime de sombra em sistemas de integração lavoura pecuária floresta*. 2015. 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciências). – Escola Superior de Agricultura "Luiz Queiroz", Piracicaba, 2015.

OLIVEIRA, C. C. et al. Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. *Agroforest System*, v. 92, n. 6, p. 1659-1672, 2017. DOI: 10.1007/s10457-017-0114-5.

OLIVEIRA, T. K. *Sistema agrossilvipastoril com eucalipto e braquiária sob diferentes arranjos estruturais em área de Cerrado*. 2005. 164 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal: Florestas de Produção) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

PACIULLO, D. S. C. et al. Morfofisiologia e valor nutritivo do capim-braquiária sob sombreamento natural e a sol pleno. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 42, p. 573-579, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400016>.

PENG, X. et al. Photosynthetic Response of Soybean to Microclimate in 26-Year-Old Tree-Based Intercropping Systems in Southern Ontario, Canada. *PLoS ONE*, v. 10, n. 6, p. 1-6, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0129467>.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária, 2002. 478 p.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/coqueiro-anão verde. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v. 11, n. 2, p. 293-302, 2003. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000300003>.

PEZZOPANE, J. R. M.; PEDRO JR., M. J.; GALLO, P. B. Caracterização microclimática em cultivo consorciado café/banana. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 3, p. 256-264, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662007000300003>.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Condições microclimáticas em cultivo de café conilon a pleno sol e arborizado com nogueira macadâmia. *Ciência Rural*, v. 40, n. 6, p. 1257-1263, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782010005000098>.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Microclimate in coffee plantation grown under grevillea trees shading. *Acta Scientiarum. Agronomy*, v. 33, n. 2, p. 201-206, 2011. DOI: [10.4025/actasciagron.v33i2.7065](http://dx.doi.org/10.4025/actasciagron.v33i2.7065).

PEZZOPANE, J. R. M. et al. Microclimate and soil moisture in a silvopastoral system in southeastern Brazil. *Bragantia*, v. 74, n. 1, p. 110-119, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0334>.

PEZZOPANE, J. R. M. et al. 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://dx.doi.org/10.1590/1678-992x-2018-0150>.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. *Modificações microclimáticas em sistema silvipastoril com Grevillea robusta A. Cunn. ex R. BR. na região noroeste do Paraná*. 1998. 152 p. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas). – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

PORFÍRIO-DA-SILVA, V. et al. A radiação solar global em pastagem arborizada com renques de *Grevillea robusta* A. Cunn. ex R. Br. *Agrossilvicultura*, v. 1, n. 1, p. 187-193, 2004.

RENCHER, A. C. *Methods of Multivariate Analysis*. 2 ed. Provo: A JOHN WILEY & SONS, INC. PUBLICATION., 2002. 727 p.

RIBASKY, J.; MONTROYA, L. J.; RODIGHIERI, H. R. Sistemas Agroflorestais: aspectos ambientais e socioeconômicos. *Informe Agropecuário*, v. 22, n. 212, p. 61-67, 2001.

SANTOS, H. G. et al. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3. ed. rev. – Brasília: Embrapa; 2013.

SCHUMACHER, M. V; POGGIANI, F. Caracterização microclimática no interior dos talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Muell, localizados em Anhembi, SP. *Ciências Florestais*, v. 3, n. 1, p. 9-20, 1993. DOI: <http://dx.doi.org/10.5902/19805098282>.

SILVA, R. G. *Introdução à bioclimatologia animal*. São Paulo: Nobel, 2000. 286 p.

SILVA, R. G. Predição da configuração de sombras de árvores em pastagens para bovinos. *Engenharia Agrícola*, v. 26, n. 1, p. 268-281, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162006000100029>.

SOARES, A. B. et al. Influência da luminosidade no comportamento de onze espécies forrageiras perenes de verão. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 38, n. 3, p. 443-451, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982009000300007>.

SOUZA, W. et al. Microclimate in silvipastoral systems with eucalyptus in rank with different heights. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 39, n. 3, p. 685-694, 2010a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000300030>.

SOUZA, W. et al. Behavior of beef cattle in silvipastoral systems with eucalyptus. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.39, n.3, p.677-684, 2010b. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000300029>.

SOUZA, A. P. et al. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado de Mato Grosso. *Nativa*, v. 1, p. 34-43, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v01n01a07>.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. *Fisiologia vegetal*. Porto Alegre: Artmed, 2004. 722 p.

VAN OUDENHOVEN, A. P. E. et al. Framework for systematic indicator selection to assess effects of land management on ecosystem services. *Ecological Indicators*, v. 21, p. 110-122, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2012.01.012>.

VIEIRA JUNIOR, N. A. et al. Temperature, thermal comfort, and animal ingestion behavior in a silvopastoral system. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 40, n. 1, p. 403-416, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n1p403>.

VON ARX, G.; DOBBERTIN, M.; REBETEZ, M. Spatio-temporal effects of forest canopy on understory microclimate in a long-term experiment in Switzerland. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 166-167, p. 144-155, 2012. DOI: 10.1016/j.agrformet.2012.07.018.

WHATLEY, J. M., WHATLEY, F. R. *A luz e a vida das plantas*. São Paulo: EPU/EDUSP, 1982. 103 p.

ARTIGO 2

CONFORTO TÉRMICO EM DIFERENTES ARRANJOS DE SISTEMAS DE INTEGRAÇÃO LAVOURA-PECUÁRIA-FLORESTA (ILPF)

[Revista Journal of thermal biology]

RESUMO

A inserção do componente florestal em pastagens pode melhorar as condições ambientais aos animais, devido ao sombreamento, assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as condições de conforto térmico no centro do entre-renques em sistemas de ILPF compostos por renques duplos e triplos de eucalipto, no município de Sinop, MT. Os dados de temperatura (Tar), umidade relativa do ar média (UR), temperatura do globo negro (TGN), radiação fotossinteticamente ativa (RFA) e velocidade média do vento (Vv) foram coletados via estações meteorológicas, distribuídas a 24,5 m do renque duplo (ILPF_{24,5m}), a 7,5 m do renque triplo (ILPF_{7,5m}) e a pleno sol (PS) de março de 2014 a fevereiro de 2016. Calculou-se o Índice de Temperatura do Globo e Umidade (ITGU) e a Carga Térmica Radiante (CTR) usando dados das 8h00 às 16h00 e três horários (9, 12 e 15h00). A Tar, RFA, e TGN foram menores no ILPF_{7,5m} em todas as estações do ano, enquanto o ILPF_{24,5m} foi estatisticamente igual ao PS. A UR foi maior a PS no verão, e igual ao ILPF_{7,5m} na primavera e outono. A Vv foi maior a PS, sem distinção do ILPF_{7,5m} no verão. O ITGU médio variou de 86,6 a 87,4 a PS, com redução de 0,6 e 4,6% no ILPF_{24,5m} e ILPF_{7,5m}, respectivamente. A CTR variou de 538,9 (ILPF_{7,5m}) a 715,4 W m⁻² (PS), com maiores reduções no outono (21,6%) e inverno (20,6%). O ILPF_{7,5m} reduziu o ITGU 5,9, 4,3 e 4,8%, às 9, 12 e 15h00, respectivamente e o ILPF_{24,5m}, 0,4 (9h00) e 0,6% (12 e 15h00). Assim, os sistemas ILPF alteram os índices, com maiores efeitos no ILPF_{7,5m}, com reduções expressivas na CTR. O ILPF_{24,5m} se assemelhou ao PS, quanto ao ITGU, atingindo níveis desconfortáveis, assim como o ILPF_{7,5m}, porém, as árvores foram capazes de reduzir o ITGU, principalmente no ILPF_{7,5m}.

Palavras-chave: Conforto ambiental; ITGU; CTR; Sombreamento.

ABSTRACT

The insertion of the forest component in pastures can improve the environmental conditions to the animals, due to shading. Thus, the objective of this work was to evaluate the thermal comfort conditions in the center of the between-rows in ICLF systems composed by double and triple rows of eucalyptus in the municipality of Sinop, MT. Temperature (Ta), mean relative air humidity (Rh), black globe temperature (Tg), photosynthetically active radiation (PAR) and mean wind speed (Ws) data were collected via meteorological stations, distributed at 24.5m from the double row (ICLF_{24.5m}), 7.5m from the triple row (ICLF_{7.5m}) and in full sun (Fs) from March 2014 to February 2016. Black Globe Temperature and Humidity Index (BGHI) and Radiant Thermal Load (RTL) were calculated using data from 8am to 4pm and three times (9am, 12 noon and 3pm). Ta, PAR, and Tg were lower in ICLF_{7,5m} in all seasons, while ICLF_{24.5m} was statistically equal to Fs. The Rh was higher on Fs in summer, and equal

to ICLF_{7.5m} in spring and autumn. W_s was higher on Fs, without distinction of ICLF_{7.5m} in summer. The mean BGHI ranged from 86.6 to 87.4 at Fs, with a reduction of 0.6 and 4.6% in ICLF_{24.5m} and ICLF_{7.5m}, respectively. The RTL ranged from 538.9 (ICLF_{7.5m}) to 715.4 $W m^{-2}$ (Fs) with greater reductions in autumn (21.6%) and winter (20.6%). The ICLF_{7.5m} reduced the BGHI 5.9, 4.3 and 4.8% at 9am, 12 noon and 3pm, respectively, and the ICLF_{24.5m}, 0.4 (9am) and 0.6% (12 noon and 3pm). Thus, ICLF systems alter indexes, with greater effects on ICLF_{7.5m}, with significant reductions in RTL. The ICLF_{24.5m} was similar to Fs, in relation to the BGHI, reaching uncomfortable levels, as well as the ICLF_{7.5m}, however, the trees were able to reduce the BGHI, mainly in the ICLF_{7.5m}.

Keywords: Environmental comfort; BGHI; RTL; Shading.

1 INTRODUÇÃO

Altas temperaturas em ambientes tropicais é um dos fatores limitantes na produção leiteira, haja vista que o aumento da temperatura ambiente prejudica o desempenho produtivo e reprodutivo dos animais devido ao estresse calórico, o que causa prejuízos econômicos na pecuária (Ricci et al., 2013). Para bovinos indianos a zona de conforto térmico está entre 10 e 26 °C, e para bovinos europeus, entre 0,5 e 10-20°C (Nicodemo et al., 2004). Acima desses valores, os animais tendem a buscar ambientes mais frescos, o que comprova a necessidade de atenuar os efeitos provocados pelo calor (Leme et al., 2005; Pires et al., 2010a).

Como os elementos climáticos estão diretamente relacionados ao conforto térmico animal, a criação de gado em pastagens é dependente das condições meteorológicas, cujos animais são sensíveis a quaisquer variações ambientais (Oliveira et al., 2018). Durante a maior parte do dia nos meses mais quentes do ano, o ambiente é tido como estressante aos animais, pois elevada temperatura e radiação solar e baixa umidade relativa, estão acima da zona de conforto para vacas em lactação (Pires et al., 2010a).

O fornecimento de sombra natural é uma das opções mais eficientes e econômicas para reduzir os efeitos negativos do clima sobre os animais, tendo em vista que as árvores têm a capacidade de reduzir a carga térmica, principalmente em relação à interceptação de parte da radiação solar, promovendo a diminuição da temperatura do ar, aumento da umidade relativa e, conseqüentemente melhoria do conforto térmico animal (Karvatte Junior, et al., 2016).

Sistemas que integram árvores, pastagens e animais, são alternativas às pastagens convencionais, por apresentarem o componente florestal, o qual, provê sombra aos animais, além da possibilidade de ser outra fonte de renda na propriedade. Os referidos são uma categoria dentro da estratégia integração-lavoura-pecuária-floresta (ILPF), denominados sistemas silvipastoris ou integração pecuária-floresta (IPF), os quais consorciaram numa mesma área pastagem e/ou animais e árvores, de forma simultânea ou sequencial (Balbino et al., 2011).

O ambiente em que os animais vivem pode ser classificado através de índices bioclimáticos, os quais expressam o conforto dos mesmos em determinadas condições, sendo dependente da umidade relativa, intensidade do vento, precipitação, radiação térmica e da superfície de contato dos animais (Ávila et al., 2013), fatores estes que caracterizam o ambiente térmico que circunda os animais, como também o estresse que o ambiente pode lhes causar (Leite et al., 2012).

Baliscei et al. (2012) verificaram que um sistema silvipastoril com fileiras duplas e 25 metros entre renques promoveu alterações ambientais, diminuindo a temperatura do globo negro, a velocidade do vento e o índice de temperatura do globo e umidade (ITGU). Karvate Junior et al. (2016) constataram que em comparação ao pleno sol, o ITGU é menor à sombra. Pezzopane et al. (2019) verificaram menos horas de ITGU considerado estressante e menor CTR no sistema silvipastoril quando comparado ao pleno sol, em todas as estações do ano.

Considerando-se a variabilidade climática no Brasil e a quantidade de produtores de leite no país, tem-se a necessidade de avaliar os sistemas produtivos de forma regionalizada (Oliveira et al., 2007a), visando atender, inclusive a demanda do mercado consumidor, que está cada vez mais exigente quanto ao ambiente e tratamento que os animais são submetidos (Navarini et al., 2009). Nesses moldes, estudos microclimáticos servirão para quantificar o efeito dos diferentes tipos de arborização nas modificações do microclima, sendo um dos aspectos relevantes na tomada de decisão do arranjo e manejo do componente florestal em sistema ILPF.

Este trabalho teve por objetivo avaliar as condições de conforto térmico no centro do entre-renques em sistemas ILPF compostos por renques duplos e triplos de eucalipto, no ecótono Cerrado/Floresta Amazônica, município de Sinop, MT.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Embrapa Agrossilvipastoril, localizada no município de Sinop/MT, ecótono Cerrado/Floresta Amazônica (Araújo et al., 2009), coordenadas 11°51' Sul e 55°37' Oeste, com 384 m de altitude. A área experimental possui 50 ha e está instalada sobre Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (Santos et al., 2013) de relevo plano. O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw (tropical com verão chuvoso), cujo período chuvoso ocorre de outubro a abril e o seco de maio a setembro, com temperatura média anual de 24,7°C e precipitação média anual de 1974 mm (Souza et al., 2013).

Do total de 50 ha, 10 são destinados às instalações para animais de cria e recria de novilhas leiteiras, curral, ordenha e galpão para armazenamento de alimentos para o gado. Os demais 40 ha são divididos em quatro blocos de 10 ha cada, os quais contemplam três faixas correspondentes a três regimes de luz, sendo estes: ausência total de árvores ou pleno sol (PS); presença de árvores em linhas duplas localizadas nas bordas laterais (espaçamento 3 x 2 m e 49 m entre renques) com densidade de 192 árvores ha⁻¹ (ILPF49m); e renques triplos de árvores nas laterais e no interior da área (espaçamento 3 x 2 m e 15 m entre renques) com densidade de 714 árvores ha⁻¹ (ILPF15m) (Figura 1).

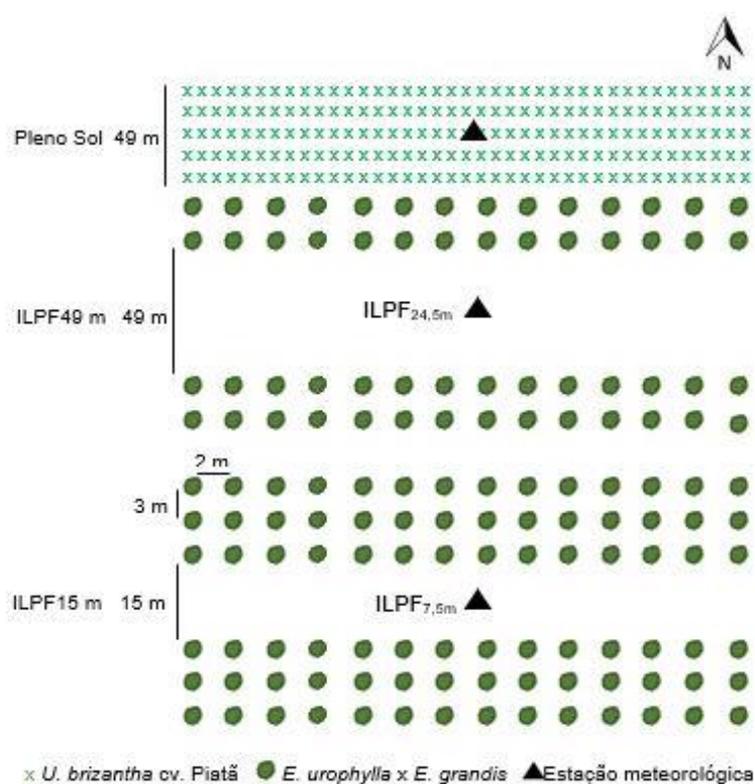


Fig. 1. Posições espaciais de coleta de dados do microclima a pleno sol, ILPF49m e ILPF15 m do experimento de ILPF-Leite da Embrapa Agrossilvipastoril, Sinop-MT.

O experimento foi estabelecido em fevereiro de 2011, com a implantação de eucalipto - clone H13 (*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake x *E. grandis* (Hill) ex Maiden) no sentido Leste-Oeste. O sistema foi delineado de maneira que dois quadrantes fossem ocupados com o componente agrícola e dois com pecuário (pastagem), permanecendo por dois anos, para então haver rotação entre lavoura e pastagem nos quadrantes, visando atender a demanda de alimentos aos animais do experimento.

Dessa forma, eram mantidos 10 ha de lavoura de primeiro ano [milho consorciado com *U. ruziziensis*, para ensilagem na safra e feijão caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp) na safrinha]; 10 ha de lavoura de segundo ano [milho consorciado com capim-piatã (*U. brizantha* cv. BRS Piatã) na safra e permanência do capim-piatã na safrinha]; 10 ha de pastagem de capim-piatã de primeiro ano; e 10 ha de pastagem de capim-piatã de segundo ano (Coletti, 2016). Atualmente, somente os componentes florestais e pecuário compõem o sistema.

Foram instaladas estações meteorológicas em dezembro de 2013 para monitorar o microclima no centro do entre-renques do ILPF49m, denominado ILPF_{24,5m} e ILPF15m (ILPF_{7,5m}) e no centro da parcela localizada a pleno sol (PS), sendo utilizados sensores específicos acoplados a sistemas automáticos de aquisição de dados (“*Datalogger*”) programados para leituras a cada 5 segundos e obtenção dos valores médios horários de radiação fotossinteticamente ativa (RFA), temperatura do ar (Tar) e do globo negro (TGN), umidade relativa do ar (UR) e velocidade do vento (Vv).

Para as análises do microclima e dos índices de conforto térmico por estação do ano, foram utilizados dados horários de março de 2014 a fevereiro de 2016 de cada posição de coleta de dados, utilizando as médias horárias entre 8h00 e 16h00. Para avaliar os índices de conforto térmico durante o dia, foram selecionados os dados das 9h00, 12h00 e 15h00, conforme Karvate Junior et al. (2016) e Silva et al. (2010) em cada estação do ano.

Foram calculados o índice de temperatura do globo e umidade (ITGU) proposto por Buffington et al. (1981) (Equação 1) e a carga térmica radiante (CTR, W m⁻²), proposta por Esmay (1978) (Equação 2) para cada estação do ano e posição de coleta de dados microclimáticos.

$$ITGU=Tgn+0,36t+41,5 \quad (1)$$

Em que:

Tgn: temperatura do globo negro, °C, e t: temperatura do ar (° C).

Os valores de ITGU utilizados para avaliar a situação de conforto térmico de animais foram com a seguinte escala: ≤ 74 , conforto; $> 74 \leq 78$, alerta; $\geq 79 \leq 84$, perigosa; > 84 , emergência, conforme Souza et al., 2002.

$$CTR = 1,053 \times B \times v^{1/2} (Tgn - T) + \sigma (Tgn + 273,2)^4 \quad (2)$$

Em que:

B= parâmetro de troca térmica, sendo B= 13,462 para globos de 15 cm de diâmetro; v= velocidade do vento, m s⁻¹, e σ =constante de Stefan-Boltzman, sendo $\sigma=5,6697 \times 10^{-8}$, W m⁻² k⁻⁴.

Os elementos microclimáticos e os índices foram submetidos ao teste de comparações múltiplas de Tukey a 5% de probabilidade utilizando 2000 reamostragens via *bootstrap*, sendo utilizado o programa de análise estatística SISVAR versão 5.6.86 (Ferreira, 2014).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação por estação do ano

O ILPF_{7,5m} proporcionou reduções na Tar, TGN e na RFA, sendo menor que no ILPF_{24,5m} e a PS em todas as estações do ano. A umidade relativa do ar foi maior a PS na primavera e no verão, enquanto o ILPF_{7,5m} teve as maiores médias no inverno e no outono, sendo este igual ao PS. A Vv também alcançou maiores médias a PS em todas as estações do ano, seguido pelo ILPF_{24,5m} e ILPF_{7,5m}. Este, foi igual ao PS apenas no verão (Tabela 1).

A Tar e TGN foi menor no ILPF_{7,5m} em todas as estações do ano, com exceção da Tar na primavera, que não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) entre as posições de avaliação. A média de Tar variou entre 28,2 e 31,6 °C e a TGN de 31,9 a 40,4 °C, cujas menores médias de TGN foram no outono (ILPF_{7,5m}) e maiores no inverno a PS (Tabela 1). No Sul do Brasil, Oliveira et al. (2018) também verificaram

que a Tar e TGN foram menores no ILPF de 14 m entre renques, em comparação com ILPF menos adensado.

Tabela 1. Média por estação do ano considerando dados das 8 às 16h00 de temperatura do ar e do globo negro média (°C), de radiação fotossinteticamente ativa média ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), umidade relativa do ar média (%) e velocidade do vento média (m s^{-1}), a pleno sol (PS), nos sistemas ILPF_{24,5m} e ILPF_{7,5m}, Sinop/MT.

Estação do ano	PS	ILPF _{24,5m}	ILPF _{7,5m}	CV (%)
Temperatura (°C)				
Primavera	30,5 ^{ns}	30,5 ^{ns}	30,4 ^{ns}	13,3
Verão	28,6 ^{ab}	28,8 ^a	28,5 ^b	12,4
Outono	28,7 ^a	28,8 ^a	28,2 ^b	10,7
Inverno	31,6 ^a	31,5 ^a	30,9 ^b	13,6
Temperatura do globo negro (°C)				
Primavera	38,9 ^a	38,5 ^a	37,3 ^b	17,7
Verão	37,0 ^a	36,8 ^a	35,4 ^b	20,2
Outono	38,4 ^a	38,1 ^a	31,9 ^b	14,9
Inverno	40,4 ^a	40,1 ^a	34,6 ^b	14,8
Radiação fotossinteticamente ativa ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)				
Primavera	940,6 ^a	926,9 ^a	707,9 ^b	54,6
Verão	815,1 ^a	739,0 ^b	631,4 ^c	66,2
Outono	911,0 ^a	882,4 ^a	295,5 ^b	51,9
Inverno	984,8 ^a	965,0 ^a	296,6 ^b	45,8
Umidade relativa do ar (%)				
Primavera	58,3 ^a	56,7 ^b	57,4 ^{ab}	32,2
Verão	78,6 ^a	71,3 ^c	73,9 ^b	20,1
Outono	67,6 ^a	64,8 ^b	67,4 ^a	25,2
Inverno	37,2 ^b	36,4 ^b	38,6 ^a	44,6
Velocidade média do vento (m s^{-1})				
Primavera	1,4 ^a	1,3 ^b	1,2 ^c	37,4
Verão	0,6 ^a	0,5 ^b	0,6 ^a	71,1
Outono	1,2 ^a	1,1 ^b	0,9 ^c	52,4
Inverno	1,9 ^a	1,7 ^b	1,4 ^c	40,2

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, pelo método de *bootstrap*.

A Tar e TGN foi menor no ILPF_{7,5m} em todas as estações do ano, com exceção da Tar na primavera, que não apresentou diferença significativa ($p > 0,05$) entre as posições de avaliação. A média de Tar variou entre 28,2 e 31,6 °C e a TGN de 31,9 a 40,4 °C, cujas menores médias de TGN foram no outono (ILPF_{7,5m}) e maiores no inverno a PS (Tabela 1). No Sul do Brasil, Oliveira et al. (2018) também verificaram que a Tar e TGN foram menores no ILPF de 14 m entre renques, em comparação com ILPF menos adensado.

A menor incidência de RFA associada à menor velocidade do vento no ILPF_{7,5m} pode ter contribuído na redução da TGN neste local. Oliveira et al. (2018) observaram que a densidade de árvores altera as características microclimáticas do local em

menor ou maior grau, tendo reflexos positivos no conforto térmico dos animais. Em que a altura das árvores e a densidade de plantio influenciam a quantidade de radiação recebida pelo sub-bosque e pela superfície do solo (Giese et al., 2019).

A UR apresentou as menores médias no $ILPF_{24,5m}$, em relação às outras posições de avaliação, sendo estatisticamente igual ao PS no inverno (Tabela 1). Enquanto o $ILPF_{7,5m}$ apresentou maiores médias que as demais posições no inverno e outono, sendo este, estatisticamente igual ao PS, o qual, teve as maiores médias na primavera e verão. O aumento da UR e diminuição da Tar e TGN nos locais arborizados estão relacionados à redução da incidência de radiação proporcionada pelas árvores, melhorando as condições térmicas do ambiente (Navarini et al., 2009).

Segundo Baêta e Souza (1997), a faixa de temperatura ambiente ideal para o conforto térmico dos taurinos (*Bos taurus*) é entre 0 e 16 °C, com limites críticos de -10 e 27 °C e, para zebuínos (*Bos indicus*) entre 10 e 27 °C, com limites críticos de 0 e 35 °C e, para gado mestiço, entre 5 e 31 °C. A umidade relativa do ar ideal é entre 60 e 70%. Enquanto a TGN considerada confortável aos animais é 23 °C e ao atingir 44 °C, indica situação de estresse térmico (Ferreira et al., 2006).

A sensação de aumento de calor em condições de umidade alta, está relacionada à diminuição do resfriamento evaporativo, tendo em vista que os processos fisiológicos responsáveis pela manutenção do equilíbrio térmico é o suor e a respiração (Souza e Nery, 2012). Em clima quente, a evaporação cutânea do gado fica comprometida quando a UR está alta e a temperatura do ar ultrapassa 24°C, sendo favorecida quando há movimento de ar, o que ajuda a dissipar do calor. Em clima quente e seco, a evaporação é facilitada e o calor é suportado mais facilmente (Medeiros e Vieira, 1997).

A velocidade do vento, por sua vez, foi maior PS, exceto no verão, sendo igual ao $ILPF_{7,5m}$. Este, proporcionou maiores reduções na Vv, em relação ao PS (Tabela 1). Baêta e Souza (1997) consideraram que a Vv ideal para bovinos varia entre 1,38 a 2,22 $m s^{-1}$, o que favorece a perda de calor por sudação. Dessa forma, a média de Vv permaneceu dentro dessa faixa no inverno e na primavera, sendo menor que o limite inferior nas demais estações do ano, em todas as posições avaliadas.

No período estudado, as médias de Tar e TGN atingiram valores considerados desconfortáveis aos bovinos, enquanto a UR no verão e outono esteve dentro do intervalo considerado confortável. Viera Junior et al. (2019) constataram que quando a temperatura média está entre 21,0 e 30,0 °C, os animais estavam sob a copa das

árvores, permanecendo em média, 47% do tempo na sombra (Souza et al., 2010), o que justifica a necessidade de provimento de sombra aos mesmos.

O ITGU mostrou que o PS alcançou as maiores médias na primavera, outono e inverno, e no verão foi estatisticamente igual ao ILPF_{24,5m}. O ILPF_{7,5m} apresentou as menores médias de ITGU (Tabela 2), com redução média de 4,6% do ITGU, enquanto o ILPF_{24,5m} reduziu 0,6% em relação ao PS. A condição térmica amenizada nos dois sistemas ILPF pode ser explicada pela presença do componente florestal e pela densidade no ILPF_{7,5m}, em que a incidência de radiação solar na distância avaliada foi reduzida. Esse sombreamento afeta positivamente o comportamento e pastejo dos animais (Mello et al., 2017).

Tabela 2. Média por estação do ano considerando dados das 8 às 16h00 do Índice de Temperatura do Globo e Umidade e Carga Térmica Radiante ($W m^{-2}$), nos sistemas ILPF_{24,5m}, ILPF_{7,5m} e a pleno sol (PS), Sinop/MT.

Estação do ano	PS	ILPF _{24,5m}	ILPF _{7,5m}	CV (%)
Índice de Temperatura do Globo e Umidade				
Primavera	87,4 Aa	86,9 Ab	85,7 Ac	7,4
Verão	86,9 Aba	86,3 BCa	84,9 Bb	8,7
Outono	87,3 Aa	86,8 ABb	80,7 Cc	6,3
Inverno	86,6 Ba	86,1 Cb	80,7 Cc	6,2
Carga Térmica Radiante ($W m^{-2}$)				
Primavera	673,5 Ca	663,3 Bb	632,6 Ac	15,5
Verão	614,7 Da	604,9 Cb	587,2 Bc	16,6
Outono	687,1 Ba	668,3 Bb	538,9 Dc	13,0
Inverno	715,4 Aa	702,6 Ab	568,2 Cc	11,7

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo método de *bootstrap*.

As médias de ITGU variaram de 80,7 a 87,4, consideradas situação de alerta à emergencial, conforme escala de Souza et al. (2002). Valores de ITGU acima do limite considerado confortável em sistema sombreado também foram observados por Karvatte Junior et al. (2016) e Baliscei et al. (2013). No entanto, o componente florestal possui papel fundamental devido à sua capacidade de alterar o balanço de radiação sobre os animais, protegendo-os contra a radiação solar direta, mesmo que não haja significativas mudanças de temperatura e umidade relativa do ar (Barbosa et al., 2004; Baliscei et al., 2013), o que pode ser observado nos valores de CTR (Tabela 2).

Em condições tropicais, a CTR deve ser a menor possível para se obter o conforto térmico (Silva, 2000). A CTR variou de 614,7 (verão) a 715,4 $W m^{-2}$ (inverno) na avaliação a PS. No ILPF_{24,5m} variou de 604,9 (verão) a 702,6 $W m^{-2}$ (inverno) e de 538,9 (outono) a 632,6 $W m^{-2}$ na primavera, no ILPF_{7,5m}. Assim, houve redução deste

índice nos dois sistemas ILPF, variando de 1,5% na primavera a 2,7% no outono, no ILPF_{24,5m}, e as maiores reduções foram observadas no outono e inverno, no ILPF_{7,5m}, sendo de 21,6% e 20,6%, respectivamente.

Em área de transição entre Cerrado/Amazônia de Sinop/MT, a CTR foi em média 673, 627 e 609 W m⁻² no PS, no ILPF de linhas simples e no ILPF de linhas triplas, respectivamente. Os renques de linhas triplas espaçados 30 m reduzem em até 20% a CTR nas áreas sombreadas (Magalhães et al., 2018). Portanto, resultados semelhantes aos obtidos neste estudo, em que ILPF com maior número de árvores proporcionou maiores reduções da CTR.

De todos os fatores que podem interferir no conforto térmico animal em ambientes tropicais, a temperatura e a radiação solar são as que mais influenciam os animais mantidos a pasto (Alves et al., 2019). Em ambiente sombreado, as árvores além de evitarem a radiação direta sobre os animais, transformam parte da energia solar em energia química latente, através do processo de fotossíntese, reduzindo assim, a energia disponível ao aquecimento do ar (Baêta e Souza, 1997).

Nas condições avaliadas, as menores médias de CTR foram obtidas no ILPF_{7,5m}, em todas as estações do ano, quando comparadas às demais posições de avaliação. Este arranjo possui menor espaçamento entre renques, portanto maior densidade de eucalipto, influenciando a quantidade de radiação solar que chega ao sub-bosque do sistema (Oliveira et al., 2007b).

3.2 Avaliação horária

As médias de Tar e TGN das 9, 12 e 15h00 estão mostradas na Tabela 3. A Tar foi igual às 12 e 15h, sendo maior que às 9h em todas as estações do ano e locais de avaliação. No verão e outono, não houve diferença entre os sistemas ILPF e o PS, cuja Tar estava em torno de 32 °C. No outono, os três horários avaliados tiveram diferença estatística entre os locais, cuja Tar foi menor no ILPF_{7,5m}.

A TGN, de maneira geral, foi maior às 12h00, não diferindo das 15h00 no inverno e no outono, a PS e no ILPF_{24,5m}. Entre os locais de avaliação, as árvores causaram maior efeito no ILPF_{7,5m}, reduzindo a TGN (Tabela 3).

Tabela 3. Média por estação do ano de temperatura do ar (Tar, °C) e temperatura do globo negro (TGN, °C) considerando três horários (9, 12 e 15h00) a pleno sol (PS) e nos sistemas ILPF_{24,5m} e ILPF_{7,5m}, Sinop/MT.

		Tar (°C)			TGN (°C)		
		Primavera					
		Hora			Hora		
Locais		9h00	12h00	15h00	9h00	12h00	15h00
PS		27,6 Ab	32,0 Aa	32,0 Aa	35,4 Ac	42,8 Aa	40,1 Ab
ILPF _{24,5m}		27,8 Ab	31,9 Aa	32,1 Aa	35,1 Ac	42,3 ABa	39,6 Ab
ILPF _{7,5m}		27,5 Ab	31,9 Aa	32,0 Aa	32,7 Bc	41,4 Ba	38,5 Ab
		Verão					
PS		26,0 Bb	29,7 Aa	30,2 Aa	33,5 Ac	40,5 A	38,5 Ab
ILPF _{24,5m}		26,5 Ab	30,1 Aa	30,1 Aa	33,1 Ac	40,4 Aa	38,4 Ab
ILPF _{7,5m}		25,6 Bb	29,8 Aa	30,1 Aa	29,2 Bb	39,4 Aa	37,8 Aa
		Outono					
PS		26,0 Ac	29,9 ABb	30,5 Aa	34,5 Ab	40,7 Aa	40,9 Aa
ILPF _{24,5m}		26,2 Ab	30,1 Aa	30,5 Aa	34,6 Ab	40,5 Aa	40,4 Aa
ILPF _{7,5m}		25,4 Bb	29,5 Ba	29,8 Ba	28,4 Bc	34,3 Ba	33,1 Bb
		Inverno					
PS		27,6 Ac	33,5 Ab	34,2 Aa	35,4 Ab	43,4 Aa	43,6 Aa
ILPF _{24,5m}		27,6 Ab	33,4 Aa	34,0 ABa	35,6 Ab	43,2 Aa	43,0 Aa
ILPF _{7,5m}		26,8 Bb	33,0 Aa	33,5 Ba	29,7 Bb	37,7 Ba	36,8 Ba

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha por variável e maiúscula na coluna por estação do ano, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, pelo método de *bootstrap*.

A RFA foi maior às 12h00 em todas as ocasiões avaliadas, com médias semelhantes entre PS e ILPF_{24,5m}, exceto às 15h00 da primavera e às 12 e 15h00 no verão. Nos demais horários e estação do ano, observa-se a influência dos renques triplos de eucalipto na redução da quantidade de RFA que chega ao sub-bosque no centro do entre-renques (Tabela 4).

Tabela 4. Média por estação do ano de radiação fotossinteticamente ativa (RFA, $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e umidade relativa do ar (UR, %) considerando três horários (9, 12 e 15h00) a pleno sol (PS) e nos sistemas ILPF_{24,5m} e ILPF_{7,5m}, Sinop/MT.

		RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			UR (%)		
		Primavera					
		Hora			Hora		
Locais		9h00	12h00	15h00	9h00	12h00	15h00
PS		850,8 Ab	1374,3 Aa	609,5 Ac	71,1 Aa	52,2 Ab	50,3 Ab
ILPF _{24,5m}		819,9 Ab	1341,9 Aa	522,8 Bc	67,9 Aa	50,9 Ab	49,7 Ab
ILPF _{7,5m}		507,6 Bb	1100,3 Ba	513,5 Bb	69,0 Aa	51,6 Ab	50,3 Ab
		Verão					

continua

continuação						
	RFA ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)			UR (%)		
PS	580,5 Ab	1208,1 Aa	565,8 Bb	90,8 Aa	75,4 Ab	69,5 Ac
ILPF _{24,5m}	598,9 Ab	1020,5 Ba	509,7 ABb	80,2 Ca	66,6 Bb	66,0 Ab
ILPF _{7,5m}	267,8 Bc	989,8 Ba	610,6 Ab	85,5 Ba	69,0 Bb	67,5 Ab
Outono						
PS	735,8 Ac	1237,2 Aa	810,1 Ab	80,4 Aa	61,7 Ab	57,6 Ac
ILPF _{24,5m}	714,9 Ac	1211,1 Aa	789,8 Ab	75,8 Ba	59,3 Ab	56,6 Ab
ILPF _{7,5m}	221,1 Bb	427,9 Ba	164,0 Bc	78,7 Aa	61,4 Ab	59,0 Ab
Inverno						
PS	772,9 Ac	1399,9 Aa	845,0 Ab	50,7 Aa	30,6 Ab	27,8 Ab
ILPF _{24,5m}	761,1 Ac	1389,4 Aa	825,4 Ab	49,1 Aa	30,0 Ab	27,4 Ab
ILPF _{7,5m}	232,5 Bb	494,4 Ba	211,0 Bb	52,1 A a	31,9 Ab	29,2 Ab

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha por variável e maiúscula na coluna por estação do ano, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, pelo método de *bootstrap*.

A UR foi maior no horário da manhã, tendo comportamento inverso à temperatura. Entre as posições de avaliação microclimáticas, a UR diferiu apenas às 9h00 no verão e outono e às 12h00 no verão. E a Vv na primavera, foi maior às 12h00 no PS e igual às 15h00 nos sistemas ILPF. No verão, apenas no ILPF_{7,5m} houve diferença estatística entre os horários. No inverno e outono, a Vv foi maior às 12h00, não diferindo das 9h00 no ILPF_{7,5m} no outono (Tabela 5).

Tabela 5. Média por estação do ano de velocidade média do vento (Vv, m s^{-1}), considerando três horários (9, 12 e 15h00) a pleno sol (PS) e nos sistemas ILPF_{24,5m} e ILPF_{7,5m}, Sinop/MT.

Vv (m s^{-1})				
Primavera				
Locais	Hora			
	9h00	12h00	15h00	
PS	1,3 Ab	1,4 Aa	1,4 Ab	
ILPF _{24,5m}	1,2 ABb	1,4 Aa	1,4 Aa	
ILPF _{7,5m}	1,1 Bb	1,2 Ba	1,2 Ba	
Verão				
PS	0,6 Aa	0,6 Aa	0,6 Aa	
ILPF _{24,5m}	0,5 Aa	0,6 Aa	0,5 Aa	
ILPF _{7,5m}	0,5 Ab	0,6 Aab	0,6 Aa	
Outono				
PS	1,2 Ab	1,5 Aa	1,2 Ab	
ILPF _{24,5m}	1,1 Bb	1,3 Ba	1,1 Bb	
ILPF _{7,5m}	1,0 Ba	1,0 Ca	0,8 Cb	

continua

continuação

Vv (m s ⁻¹)			
Inverno			
PS	1,8 Ab	2,2 Aa	1,7 Ab
ILPF _{24,5m}	1,6 Bb	2,1 Ba	1,6 Bb
ILPF _{7,5m}	1,3 Cb	1,6 Ca	1,3 Cb

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha por variável e maiúscula na coluna por estação do ano, não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade, pelo método de *bootstrap*.

O ITGU médio variou de 76,6 a 91,3, às 9h00 do inverno e 12h00 da primavera, respectivamente. Em todas as estações do ano, o ITGU foi maior às 12h00, sendo igual às 15h00 no PS e ILPF_{24,5m} no outono e inverno e ao ILPF_{7,5m}, no verão. Entre as posições de avaliação, o ILPF_{7,5m} teve as menores médias de ITGU, exceto no verão às 12h00 e 15h00, em que não houve diferença estatística (Tabela 6). Karvatte Junior et al. (2016) também observaram os maiores valores de ITGU ao 12h00, variando de 79 a 81 na sombra e 83 a 88 ao sol.

Tabela 6. Média por estação do ano do Índice de Temperatura do Globo e Umidade, considerando três horários (9, 12 e 15h00) a pleno sol (PS) e nos sistemas ILPF_{24,5m} e ILPF_{7,5m}, Sinop/MT.

Índice de Temperatura do Globo e Umidade				CV (%)
Primavera				
Locais	Hora			
	9h00	12h00	15h00	
PS	84,4 Ac	91,3 Aa	88,2 Ab	6,4
ILPF _{24,5m}	83,9 Ac	90,7 Aba	87,6 ABb	6,3
ILPF _{7,5m}	81,5 Bc	89,8 Ba	86,6 Bb	6,7
Verão				
PS	83,4 Ac	90,6 Aa	88,2 Ab	7,5
ILPF _{24,5m}	82,5 Ac	89,9 Aa	87,8 Ab	7,6
ILPF _{7,5m}	78,6 Bb	89,0 Aa	87,3 Aa	7,7
Outono				
PS	83,7 Ab	89,5 Aa	89,5 Aa	5,2
ILPF _{24,5m}	83,6 Ab	89,2 Aa	88,9 Aa	5,3
ILPF _{7,5m}	77,3 Bc	83,1 Ba	81,7 Bb	4,3
Inverno				
PS	82,3 Ab	89,4 Aa	89,2 Aa	4,1
ILPF _{24,5m}	82,3 Ab	89,0 Aa	88,5 Aa	3,9
ILPF _{7,5m}	76,6 Bc	83,6 Ba	82,5 Bb	4,8

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo método de *bootstrap*.

O ITGU leva em consideração a temperatura, umidade relativa e movimentação do ar, além da radiação solar (Silva, 2000), por isso, é considerado por Martello et al. (2004), o índice mais apropriado para determinar a situação de conforto de vacas leiteiras em ambiente tropical, exposto a altas temperaturas e maior incidência de

radiação solar. Neste índice, o PS e ILPF_{24,5m} não diferiram entre si, isso pode ser devido à maior distância do renque de eucalipto, permitindo maior incidência de radiação solar, tendo em vista que a RFA, a Tar e a TGN foram semelhantes ao PS no período avaliado.

Quando o ITGU fica entre 76 e 82, os animais aumentam a taxa respiratória e a temperatura corporal, havendo necessidade de manejo alimentar e reprodutivo diariamente. De 82 a 86, há necessidade de meios artificiais de termólise para atingir o potencial genético animal e acima de 86, condições quase insuportáveis (Magalhães et al., 2018). Porém, Souza et al. (2007) observaram que mesmo com o ITGU no valor de 88 à sombra, os bovinos da raça Sindi mantiveram a frequência respiratória e temperatura retal dentro das condições normais no semiárido paraibano.

Em todas as ocasiões avaliadas, os valores médios de ITGU estiveram acima da média considerada confortável ambientalmente (74), atingindo níveis de emergência (acima de 84), como observado por Lopes et al. (2013). No entanto, o sistema ILPF_{7,5m}, de maior densidade florestal e menor espaçamento entre renques apresentou redução do ITGU em relação ao PS de 5,9, 4,3 e 4,8%, às 9, 12 e 15h00, respectivamente e o ILPF_{24,5m}, de 0,4 (9h00) a 0,6% (12 e 15h00), o que mostra o efeito do arranjo florestal no conforto térmico animal (Pezzopane et al., 2019).

A menor TGN no ILPF_{7,5m} influenciou a diminuição do ITGU, devido à capacidade das árvores na redução da CTR e da Vv onde estão inseridas, haja vista que o cálculo do ITGU é baseado na TGN, a qual estima os efeitos da energia térmica radiante, temperatura e movimentação do ar (Silva, 2000), em que a temperatura apresentou menores valores nesse local de avaliação.

A CTR seguiu o padrão da RFA, sendo menor às 9h00 e no ILPF_{7,5m} em todas as estações do ano. No outono às 12h00 e no inverno às 15h00, o ILPF_{24,5m} proporcionou reduções na CTR em relação ao PS (Tabela 7), isso pode ser explicado devido a menor velocidade do vento, pois o mesmo é fundamental nas trocas térmicas via convecção e evaporação, o que permite a eliminação do excesso de calor e, conseqüentemente influi no conforto térmico (Takahashi et al., 2009).

Tabela 7. Média por estação do ano da Carga Térmica Radiante ($W m^{-2}$), considerando três horários (9, 12 e 15h00) a pleno sol (PS) e nos sistemas ILPF_{24,5m} e ILPF_{7,5m}, Sinop/MT.

Carga Térmica Radiante ($W m^{-2}$)				CV (%)
Primavera				
Locais	9h00	Hora 12h00	15h00	
PS	633,2 Ac	746,4 Aa	676,0 Ab	13,1
ILPF _{24,5m}	622,3 Ac	733,1 Aa	664,9 Ab	13,0
ILPF _{7,5m}	572,4 Bc	702,3 Ba	632,7 Bb	14,0
Verão				
PS	576,3 Ac	666,9 Aa	624,5 Ab	15,4
ILPF _{24,5m}	561,4 Ac	655,5 Aa	618,6 Ab	15,1
ILPF _{7,5m}	508,9 Bc	644,7 Aa	613,9 Ab	14,7
Outono				
PS	636,9 Ab	728,9 Aa	710,0 Aa	11,5
ILPF _{24,5m}	629,2 Ac	710,8 Ba	689,3 Ab	11,4
ILPF _{7,5m}	505,0 Bc	570,4 Ca	539,0 Bb	8,2
Inverno				
PS	650,2 Ac	772,1 Aa	746,0 Ab	7,5
ILPF _{24,5m}	650,0 Ac	761,0 Aa	728,6 Bb	7,5
ILPF _{7,5m}	521,0 Bc	610,4 Ba	575,9 Cb	9,1

Médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna por estação do ano e minúscula na linha não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, pelo método de *bootstrap*.

Pires et al. (2010b) ressaltam que a arborização de pastagem pode reduzir em torno de 30% a CTR, permitindo o comportamento normal dos animais nessas condições. Mós et al. (2019) constataram que as árvores reduziram a CTR nos horários de maior temperatura. Nos três horários avaliados, as maiores reduções na CTR em relação ao PS foram verificadas no ILPF_{7,5m}, sendo cerca de 24,9% no outono e 21,2% no inverno. Estes valores estão próximos aos obtidos por Magalhães et al. (2018) em renques triplos espaçados em 30 m, no ecótono Cerrado/Amazônia.

Em sistema com renques de eucalipto espaçados 30 m entre si, no ecótono Cerrado/Amazônia, Domiciano et al. (2016) verificaram que a CTR foi menor que a PS, sendo que o valor máximo foi entre às 13 e 15h00, com reduções de 18% à sombra, no período chuvoso (verão), sendo dependente da distância do renque, da época do ano e da hora do dia, conforme observado por Magalhães et al. (2018).

4 CONCLUSÃO

Os sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta promovem alterações nos índices de conforto térmico, com maiores efeitos no centro do entre renques do ILPF de renques triplos, proporcionando reduções mais expressivas na CTR.

O centro do entre renques do ILPF de renques duplos se assemelhou ao pleno sol, quanto ao ITGU, atingindo níveis desconfortáveis, assim como no ILPF_{7,5m}, no entanto, as árvores foram capazes de reduzir os valores do índice, principalmente no ILPF de renques triplos.

REFERÊNCIAS

ALVES, F. V.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; KARVATTE JUNIOR, N. Bem-estar animal e ambiência na ILPF. In: BUNGENSTAB, D. J. et. al. (Ed). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. – Brasília: Embrapa, 2019. p. 207-224.

ARAUJO, R. A.; COSTA, R. B.; FELFILI, J. M.; GONÇALVEZ, I. K.; SOUSA, R. A. T. M.; DORVAL, A. Florística e estrutura de fragmento florestal em área de transição na Amazônia Matogrossense no Município de Sinop. **Acta Amazonica**, v. 39, p. 865-878, 2009.

ÁVILA, A.S.; JÁCOME, I.M.T.D.; FACCENDA, A.; PANAZZOLO, D.M.; MÜLLER, E.R. Avaliação e correlação de parâmetros fisiológicos e índices bioclimáticos de vacas holandesas em diferentes estações. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.14, n.14, p.2878-2884. 2013.

BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais: conforto animal**. Viçosa: UFV, 1997. 246 p.

BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A.; MARTÍNEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A; N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P.; FRANCHINI, J. C.; GALERANI, P. R. Evolução tecnológica e arranjos produtivos de sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 46, n. 10, p. i-xii, 2011.

BARBOSA, O. R.; BOZA, P. R.; SANTOS, G. T.; SAKAGUSHI, E. S.; RIBAS, N. P. Efeitos da sombra e da aspersão de água na produção de leite de vacas da Raça Holandesa durante o verão. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 26, n. 1, p. 115-122, 2004.

BALISCEI, M. A.; SOUZA, W.; BARBOSA, O. R.; CECATO, U.; KRUTZMANN, A.; QUEIROZ, E. O. Behavior of beef cattle and the microclimate with and without shade. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 34, n. 4, p. 409-415, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v34i4.15055>.

BALISCEI, M. A.; BARBOSA, O. R.; SOUZA, W.; COSTA, M. A. T.; KRUTZMANN, A.; QUEIROZ, E. O. Microclimate without shade and silvopastoral system during summer and winter. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 35, n. 1, p. 49-56, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4025/actascianimsci.v35i1.15155>.

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. **Transaction of the ASABE**, v. 24, n. 3, p. 711-714, 1981. DOI: 10.13031/2013.34325.

COLETTI, A. J. **Cultivo de milho consorciado com capim-piatã em sistema de integração lavoura-pecuária-floresta**. 2016. 66 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2016.

DOMICIANO, L. F.; MOMBACH, M. A.; CARVALHO, P.; Da SILVA, N. M. F.; PEREIRA, D. H.; CABRAL, L. S.; LOPES, L. B.; PEDREIRA, B. C. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Animal Production Science**, v. 58, n. 5, p. 920-929, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN16351>.

ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. Westport: AVI, 1978. 358 p.
FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 109-112, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

FERREIRA, F.; PIRES, M. F. A.; MARTINEZ, M. L.; COELHO, S. G.; CARVALHO, A. U.; FERREIRA, P. M.; FACURY FILHO, E. J.; CAMPOS, W. E. Parâmetros fisiológicos de bovinos cruzados submetidos ao estresse calórico. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 5, p. 1-9, 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-09352006000500005>.

GIESE, M.; GLATZLE, S.; ASCH, F.; ALMEIDA, R. G.; MACEDO, M. C. M.; PEREIRA, M. Dinâmica da água em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta. In: BUNGENSTAB, D. J. et. al. (Ed). **ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta**. – Brasília, DF: Embrapa, 2019. p. 195-206.

KARVATTE JUNIOR, N.; KLOSOWSKI, E. S.; ALMEIDA, R. G. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. **International Journal of Biometeorology**, v. 60, p. 1933-1941, 2016. DOI: 10.1007/s00484-016-1180-5.

LEITE, J. R. S.; DERMEVAL, A. F.; LEAL, A. F.; SOUZA, B. B.; SILVA, A. S. Influência de fatores bioclimáticos nos índices produtivos e fisiológicos de caprinos nativos confinados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 443-448, 2012.

LEME, T. M. S. P.; PIRES, A. M. F.; VERNEQUE, R. S.; ALVIM, M. J.; AROEIRA, L. J. M. Comportamento de vacas mestiças holandês x zebu, em pastagem de *Brachiaria decumbens* em sistema silvipastoril. **Ciência Agrotécnica**, v. 29, n. 3, p. 668-675, 2005. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542005000300023>.

LOPES, L. B.; ECKSTEIN, C.; PINA, D. S.; CARNEVALLI, R. A. The influence of trees on the thermal environment and behaviour of grazing heifers in Brazilian Midwest. **Tropical Animal Health and Production**, v. 48, n. 4, p. 755-761, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-016-1021-x>.

MAGALHÃES, C. A. S.; ZOLIN, C. A.; LULU, J.; LOPES, L. B. **Índices de conforto térmico em sistemas de integração lavoura-pecuária-floresta (ILPF) no ecótono Cerrado/Amazônia.** – Sinop, MT: Embrapa, 2018. 24 p.

MARTELLO, L. S.; JUNIOR, H. S.; SILVA, S. L.; TITTO, E. A. L. Respostas fisiológicas e produtivas de vacas holandesas em lactação submetidas a diferentes ambientes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, n. 1, p. 181-191, 2004.

MEDEIROS, L. F. D.; VIEIRA, D. H. **Bioclimatologia animal.** Ministério da Educação e Cultura. UFRRJ, 1997.

MELLO, A. C. T.; CARNEVALLI, R. A.; SHIRATSUCHI, L. S.; PEDREIRA, B. C.; LOPES, L. B.; XAVIER, D. B. Improved grazing activity of dairy heifers in shaded tropical grasslands. **Ciência Rural**, v. 47, n. 2, p. 1-7, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20160316>.

MÓS, J. V. N.; NASCIMENTO, S. T.; MURATA, L. S.; SANTOS, V. M.; STEIDLE NETO, A. J.; OLIVEIRA, E. M.; LISBOA, A. S.; SILVA, L. F. Thermal comfort of sows in free-range system in Brazilian Savanna. **Journal of Thermal Biology**, v. 88, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102489>.

NAVARINI, F. C.; KLOSOWSKI, E. S.; CAMPOS, A. T.; TEIXEIRA, R. A.; ALMEIDA, C. P. Conforto térmico de bovinos da raça nelore a pasto sob diferentes condições de sombreamento e a pleno sol. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 4, p. 508-517, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162009000400001>.

NICODEMO, M. L. F.; PORFÍRIO-DA-SILVA, V.; THIAGO, L. R. L. de S.; GONTIJO NETO, M. M.; LAURA, V. A. **Sistemas silvipastoris-Introdução de árvores na pecuária do Centro-Oeste brasileiro.** Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2004. Documento 146. 37 p.

OLIVEIRA, A. S.; CUNHA, D. N. F. V.; CAMPOS, J. M. S.; VALE, S. M. L. R.; ASSIS, A. J. Identificação e quantificação de indicadores-referência de sistemas de produção de leite. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 2, p. 507-516, 2007a. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982007000200030>.

OLIVEIRA, T. K.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; BOTELHO, S. A.; HIGASHIKAWA, E. M.; MAGALHÃES, W. M. Radiação solar no sub-bosque de sistema agrossilvipastoril com eucalipto em diferentes arranjos estruturais. **Cerne**, v. 13, n. 1, p. 40-50, 2007b.

OLIVEIRA, C. C.; ALVES, F. V.; ALMEIDA, R. G.; GAMARRA, É. K. L.; VILLELA, S. D. J.; MARTINS, P. G. M. A. Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. **Agroforestry Systems**, v. 92, n. 6, p. 1659-1672, 2018. DOI: [10.1007/s10457-017-0114-5](https://doi.org/10.1007/s10457-017-0114-5).

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, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.015>.

PIRES, M. F. Á.; PACIULLO, D. S. C.; PIRES, J. A. A. Conforto animal no Sistema Integração Lavoura-Pecuária-Floresta. **Informe Agropecuário**, v. 31, p. 91-98, 2010a.

PIRES, M. F. Á.; PACIULLO, D. S. C.; CASTRO, C. R. T.; XAVIER, D. F.; RIBEIRO, G. C. **Sistemas silvipastoris**: impacto sobre o conforto animal. 1. ed. – Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2010b.

RICCI, G. D.; Orsi, A. M.; Domingues, P. F. Estresse calórico e suas interferências no ciclo de produção de vacas de leite - Revisão. **Veterinária e Zootecnia**, v. 20, n. 3, p. 9-18, 2013.

SANTOS, H. G., JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M.R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. rev. Brasília, DF: Embrapa; 2013.

SILVA, R. G. **Introdução à bioclimatologia animal**. São Paulo: Nobel, 2000. 286 p.

SILVA, L. L. G. G.; RESENDE, A. S.; DIAS, P. F.; SOUTO, S. M.; AZEVEDO, B. C.; VIEIRA, M. S.; COLOMBARI, A. A.; TORRES, A. Q. A.; MATTA, P. M.; PERIN, T. B.; MIRANDA, C. H. B.; FRANCO, A. A. Avaliação de conforto térmico em sistema silvipastoril em ambiente tropical. **Asociación Latinoamericana de Producción Animal**, v. 18, n. 3-4, p. 87-95, 2010.

SOUZA, C. F.; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F. C.; FERREIRA, W. P. M.; SILVA, R. S. Avaliação de materiais alternativos para confecção de termômetro de globo. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 26, p. 157-164, 2002.

SOUZA, B. B.; SILVA, R. M. N.; MARINHO, M. L.; SILVA, G. A.; SILVA, E. M. N.; SOUZA, A. P. Parâmetros fisiológicos e índice de tolerância ao calor de bovinos da raça sindi no semiárido paraibano. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 3, p. 883-888, 2007. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-70542007000300040>.

SOUZA, W. D., BARBOSA, O. R., MARQUES, J. D. A., GASPARINO, E., CECATO, U., BARBERO, L. M. Behavior of beef cattle in silvipastoral systems with eucalyptus. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39 n. 3, 677-684, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1516-35982010000300029>.

SOUZA, D. M.; NERY, J. T. O conforto térmico na perspectiva da Climatologia Geográfica. **Geografia**, v. 21, n. 2, p. 65-83, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/2447-1747.2012v21n2p65>.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no Estado de Mato Grosso. **Nativa**, v.1, p.34-43, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.14583/2318-7670.v01n01a07>.

TAKAHASHI, L.S.; BILLER, J.D.; TAKAHASHI, K.M. Bioclimatologia zootécnica. - Jaboticabal: 2009.

VIEIRA JUNIOR, N. A.; SILVA, M. A. A.; CARAMORI, P. H.; NITSCHKE, P. R.; CORRÊA, K. A. B.; ALVES, D. S. Temperature, thermal comfort, and animal ingestion behavior in a silvopastoral system. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 403-416, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n1p403>.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os sistemas ILPF são estratégias promissoras para a produção sustentável no país, os quais possuem benefícios diretos quanto indiretos, como o conforto térmico animal. Estes benefícios são alcançados desde que os sistemas sejam planejados e manejados corretamente, trazendo ganhos econômicos aos produtores rurais.

Neste trabalho foi possível perceber a influência do arranjo florestal na variabilidade microclimática entre diferentes distâncias do renque em cada ILPF, cujos maiores efeitos foram verificados sob a copa das árvores e na face sul/norte do renque, dependendo da época do ano.

A radiação fotossinteticamente ativa e a velocidade do vento foram as variáveis que mostraram maiores efeitos do componente florestal no sistema, sendo que no ILPF49 m, a transmissão de RFA na face norte do renque no outono e inverno, e na face sul, na primavera e verão foram similares à obtida a pleno sol, então, a distância do renque e a estação do ano interferem na quantidade de radiação que chega ao sub-bosque. A velocidade do vento, por sua vez, foi maior a pleno sol e em algumas ocasiões, igual ao sistema ILPF. Isso mostra o efeito quebra vento que as árvores proporcionam, o que influencia a troca de calor no interior do ILPF com a ambiente externo.

A temperatura e umidade relativa do ar apresentaram os maiores efeitos sob sombreamento proporcionado pelos renques, diminuindo no caso da temperatura, e aumentando no caso da umidade relativa. Através da análise multivariada, percebe-se que a variabilidade de temperatura do ar, de radiação fotossinteticamente ativa e velocidade do vento foram responsáveis por separar o ILPF_{renque}, o ILPF_{12,25S}, o ILPF_{24,5m} e reunir o ILPF_{12,25N} e PS, sendo os dois últimos influenciados pela incidência de radiação.

Os índices de conforto térmico sugerem condições estressantes aos animais, mesmo em sistema sombreado, o que pode ocorrer em função da temperatura em ambiente tropical alcançar valores superiores à zona de conforto térmico dos animais. Apesar disso, o centro do entre renques do ILPF15m mostrou os maiores efeitos no conforto térmico, devido ao maior sombreamento. Em relação ao pleno sol, ambos sistemas de ILPF reduziram os valores dos índices.

O ITGU indicou que o ILPF49m foi similar ao pleno sol na maior parte do tempo, enquanto o ILPF15 m apresentou as menores médias. A CTR diminuiu à medida que

aumentou o adensamento das plantas de eucalipto, ou seja, o dossel florestal foi capaz de interceptar a radiação, que por sua vez, reduziu a carga térmica aos animais.

Embora os valores de ITGU tenham sido altos, as árvores tiveram a capacidade de reduzir os valores dos índices em relação aos obtidos a pleno sol, o que mostra a importância das árvores na pecuária leiteira. Pesquisas que avaliem o comportamento dos bovinos nos dois sistemas podem complementar este estudo, por correlacionar os índices com as atividades realizadas pelos animais em ambiente tropical.