

Alterações microclimáticas pelo componente arbóreo em sistema ILPF no norte do Paraná



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Soja
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**

DOCUMENTOS 419

Alterações microclimáticas pelo componente arbóreo em sistema ILPF no norte do Paraná

*Julio Cezar Franchini
Alvadi Antônio Balbinot Junior
Henrique Debiasi
José Renato Bouças Farias
Rubson Natal Ribeiro Sibaldeili*

Embrapa Soja
Londrina, PR
2019

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Soja
Rodovia Carlos João Strass, s/n
Acesso Orlando Amaral. Caixa Postal 231
CEP 86001-970 , Distrito de Warta, Londrina, PR
www.embrapa.br/soja
www.embrapa.br/fale-conosco/sac

Comitê Local de Publicações
da Embrapa Soja

Presidente
Ricardo Vilela Abdelnoor

Secretária-Executiva
Regina Maria Villas Bôas de Campos Leite

Membros
Clara Beatriz Hoffmann-Campo, Claudine Dinali Santos Seixas, José Marcos Gontijo Mandarino, Liliâne Márcia Mertz-Henning, Mariângela Hungria da Cunha, Marcelo Hiroshi Hirakuri, Norman Neumaier e Vera de Toledo Benassi.

Supervisão editorial
Vanessa Fuzinato Dall’Agnol

Normalização bibliográfica
Valéria de Fátima Cardoso

Projeto gráfico da coleção
Carlos Eduardo Felice Barbeiro

Editoração eletrônica
Marisa Yuri Horikawa

Foto da capa: Julio Cezar Franchini

1ª edição
PDF digitalizado (2019)

Todos os direitos reservados.

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Embrapa Soja

Alterações microclimáticas pelo componente arbóreo em sistema ILPF no norte do Paraná. / Julio Cezar Franchini... [et al.]. – Londrina: Embrapa Soja, 2019.
PDF (70 p.) : il. (Documentos / Embrapa Soja, ISSN ; 2176-2937 ; n. 419).

1. Microclima. 2. Integração. 3. ILPF. I. Franchini, Julio Cezar. II. Balbinot Junior, Alvadi Antônio. III. Debiasi, Henrique. IV. Farias, José Renato Bouças. V. Sibaldelli, Rubson Natal Ribeiro. VI. Série.

CDD: 551.66 / 634.99 (21.ed.)

Autores

Julio Cezar Franchini

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Alvadi Antônio Balbinot Junior

Engenheiro-agrônomo, doutor em Produção Vegetal, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Henrique Debiasi

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciências do Solo, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

José Renato Bouças Farias

Engenheiro-agrônomo, doutor em Fitotecnia, pesquisador da Embrapa Soja, Londrina, PR

Rubson Natal Ribeiro Sibaldelli

Licenciado em Matemática, especialista em Estatística, Londrina, PR

Apresentação

A crescente demanda mundial por alimentos, fibras e energia, associada à necessidade de preservação ambiental, exige o desenvolvimento e adaptação de tecnologias que permitam a intensificação de uso da terra e, ao mesmo tempo, aumentem a eficiência de utilização dos insumos e recursos naturais necessários à produção agropecuária. Levando em consideração as particularidades edafoclimáticas das diferentes regiões brasileiras, a utilização de sistemas integrados de produção lavoura-pecuária-floresta (ILPF) apresenta-se como a principal opção para aumentar a produção agrícola com sustentabilidade econômica, social e ambiental.

Dentre as quatro combinações de ILPF (lavoura-pecuária, lavoura-floresta, pecuária-floresta, lavoura-pecuária-floresta), a primeira é a que vem atraindo maior atenção por parte da pesquisa, assistência técnica e produtores, principalmente em função da menor complexidade envolvida na implantação e condução do sistema e dos inúmeros benefícios econômicos e ambientais, já amplamente comprovados em termos científicos e práticos. Por outro lado, ainda existem muitas dúvidas a respeito da viabilidade técnica e econômica de sistemas integrados envolvendo o componente arbóreo, especialmente em regiões tradicionais de produção de grãos, como o norte do Paraná, o que explica, em parte, a baixa adoção destas modalidades de ILPF. Entre os aspectos que necessitam ser mais bem estudados, encontram-se aqueles relacionados aos impactos do componente arbóreo sobre variáveis microclimáticas, como radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar, o que pode alterar substancialmente o desempenho produtivo dos demais componentes (lavoura e/ou pecuária).

Diante disso, esta publicação apresenta resultados obtidos na Unidade de Referência Tecnológica da Embrapa Soja, localizada no distrito de Maravilha, Londrina/PR, os quais permitem inferir a respeito dos efeitos do componente arbóreo no microclima em sub-bosque. Esperamos que as informações constantes deste material auxiliem os produtores e técnicos na tomada de decisão a respeito da utilização e planejamento de sistemas ILPF, contribuindo assim para uma agropecuária mais sustentável.

Ricardo Vilela Abdelnoor

Chefe Adjunto de Pesquisa e Desenvolvimento - Embrapa Soja

Sumário

Introdução.....	9
Protocolo da Unidade de Referência Tecnológica (URT) e aspectos metodológicos.....	11
Radiação solar.....	17
Temperatura do ar	36
Umidade absoluta.....	49
Umidade relativa.....	57
Considerações finais	66
Referências	67

Introdução

O crescimento da demanda por alimentos, fibras e agroenergia, associado ao aumento da escala de produção, à busca por facilidade nos processos produtivos e ao avanço da mecanização, transformou a atividade agrícola moderna em sistemas relativamente simplificados. Em função da expansão da fronteira agrícola, do manejo mecanizado do solo e da utilização de agroquímicos e irrigação, as atividades agrícolas, pecuárias e florestais passaram a ser executadas de forma independente. Todavia, este modelo tem se mostrado insuficiente e com sinais de saturação, em razão da excessiva demanda por energia e recursos naturais, elevando os custos de produção e o risco de insucesso econômico (Reynolds et al., 2007, Balbino et al., 2011).

A região Norte do Paraná apresenta, de acordo com a classificação de Köppen, clima Cfa - subtropical, com temperatura média no mês mais frio inferior a 18°C (mesotérmico) e temperatura média no mês mais quente acima de 22°C, verões quentes, geadas pouco frequentes e tendência de concentração das chuvas nos meses de verão, contudo sem estação seca definida (Wrege et al., 2011). Em geral, o relevo é suave ondulado e os solos possuem altos teores de argila. Nas áreas com menor declividade predomina a sucessão soja/milho segunda safra. Esse sistema intensifica o uso da terra, das máquinas e da mão de obra. Todavia, quando utilizado por várias safras consecutivas, pode resultar na degradação da qualidade do solo, especialmente de seus atributos físicos e biológicos, favorecer os processos erosivos e aumentar a incidência de plantas daninhas de difícil controle que, em geral, emergem e crescem entre a colheita do milho e a semeadura da soja (Franchini et al., 2012). Adicionalmente, no Norte do Paraná, em áreas com maior declividade, é comum o cultivo de forrageiras perenes, principalmente espécies de braquiária. Esse contexto de uso de solos agrícolas indica a predominância de sistemas pouco diversificados.

Uma opção para diversificação de modelos de produção de grãos ou pecuária é o sistema ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta) (Balbinot Junior et al., 2009; Balbino et al., 2011; Franchini et al., 2014; Franchini et al., 2015). Nas últimas duas décadas, houve avanço expressivo no conhecimento técnico e científico sobre esse sistema de produção, especialmente no âmbito da integração de lavouras com a pecuária. No entanto, o conhecimento científico

e tecnológico sobre a inserção de árvores dispostas em renques em ambientes de lavouras e/ou pastagens ainda carece de avanços que permitam análises técnicas e econômicas mais robustas, com o objetivo de fundamentar ações de difusão de conhecimentos e transferência de tecnologias (Werner et al., 2017).

Uma lacuna importante no conhecimento sobre os sistemas que integram a produção de grãos, pecuária e floresta é o entendimento do impacto do componente arbóreo sobre variáveis atmosféricas. Por um lado, as árvores dispostas em renques reduzem os picos de temperatura e a velocidade do vento, minimizando a evapotranspiração (Singh et al., 2012, Udawatta et al., 2014), bem como melhoram a conservação do solo e da água, o que pode favorecer as culturas ou pastagens em sub-bosque. Pesquisas revelaram vários benefícios agrônômicos decorrentes de interações biofísicas entre árvores e culturas agrícolas (Singh et al., 2012). Esses benefícios incluem o aumento da ciclagem de nutrientes, redução da emissão de gases de efeito estufa e aumento da biodiversidade - efeitos importantes visando a sustentabilidade dos agroecossistemas.

Por outro lado, as árvores exercem competição pelos recursos do ambiente - água, luz e nutrientes - o que pode reduzir o crescimento e a produção de culturas de grãos ou pastagens. Em geral, as árvores reduzem significativamente a radiação fotossinteticamente ativa, a assimilação líquida e o crescimento de culturas de grãos, como a soja e o milho (Reynolds et al., 2007). Os mesmos autores constataram que a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa foi significativamente reduzida (37,8%) no sistema de integração lavoura-floresta em relação à ausência de árvores.

Nesse contexto, a quantificação das interações biofísicas em sistemas de ILPF é importante para delinear sistemas que minimizem os efeitos de competição entre os componentes do sistema e promovam maior produtividade e rentabilidade do sistema como um todo. Assim, o objetivo desse trabalho foi avaliar variáveis atmosféricas em sistema ILPF no Norte do Paraná e compará-las a sistema não integrado.

Protocolo da Unidade de Referência Tecnológica (URT) e aspectos metodológicos

A URT se localiza na Fazenda Maravilha, Londrina, PR (23° 28' S, 50° 59' O, 481 m de altitude), sendo sua implantação realizada em 2010. O solo da área foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO Distroférico (Santos et al., 2013), de textura muito argilosa (teores de argila, silte e areia de 750, 194 e 56 g kg⁻¹, respectivamente). Nos oito anos de condução da URT, cinco usos da terra foram avaliados, sendo eles: 1) floresta solteira de eucalipto grandis (*Eucalyptus grandis*), ocupando uma área de 1,57 ha; 2) lavouras/pastagem perene de braquiária brizantha BRS Piatã, sem a presença de eucalipto (4,42 ha); 3) lavouras/pastagem perene de braquiária brizantha BRS Piatã integradas com renques simples de eucalipto distanciados de 15 a 35 m (2,84 ha); 4) lavouras integradas com renques simples de eucalipto distanciados de 15 a 35 m (2,88 ha); e 5) lavouras de forma contínua, sem a presença de eucalipto e pastagem (4,58 ha) (Figura 1 e Tabela 1).



Figura 1. Vista aérea da Unidade de Referência Tecnológica (URT) Fazenda Maravilha, Londrina, PR. 1.floresta solteira de eucalipto grandis; 2. lavouras/pastagem perene de braquiária brizantha BRS Piatã, sem a presença de eucalipto (avaliação da pastagem em pleno sol); 3. lavouras/pastagem perene de braquiária brizantha BRS Piatã integradas com renques simples de eucalipto distanciados de 15 a 35 m (avaliação da pastagem integrado com floresta); 4. lavouras integradas com renques simples de eucalipto distanciados de 15 a 35 m (avaliação da lavoura integrada com floresta); e 5. lavouras, sem presença de eucalipto e pastagem (avaliação da lavoura em pleno sol).

Tabela 1. Sequência de culturas nos cinco usos da terra durante oito anos de condução. Unidade de Referência Tecnológica (URT) Fazenda Maravilha, Londrina, PR.

Safras	Usos da terra (Áreas)				
	1	2	3	4	5
2010/11 (verão)	Floresta	Milho	Milho/Floresta	Milho/Floresta	Milho
2011 (inverno)	Floresta	Aveia preta	Aveia preta/Floresta	Aveia preta/ Floresta	Aveia preta
2011/12 (verão)	Floresta	Soja	Soja/Floresta	Soja/Floresta	Soja
2012 (inverno)	Floresta	Trigo	Trigo/ Floresta	Trigo/Floresta	Trigo
2012/13 (verão)	Floresta	Milho	Milho/ Floresta	Milho/Floresta	Milho
2013 (inverno)	Floresta	Pastagem (braquiária)	Pastagem (braquiária)/Floresta	Trigo/ Floresta	Trigo
2013/14 (verão)	Floresta	Pastagem (braquiária)	Pastagem (braquiária)/Floresta	Milho/Floresta	Milho
2014 (inverno)	Floresta	Pastagem (braquiária)	Pastagem (braquiária)/Floresta	Trigo/Floresta	Trigo
2014/15 (verão)	Floresta	Pastagem (braquiária)	Pastagem (braquiária)/Floresta	Soja/Floresta	Soja
2015 (inverno)	Floresta	Pastagem (braquiária)	Pastagem (braquiária)/Floresta	Trigo/Floresta	Trigo
2015/16 (verão)	Floresta	Pastagem (braquiária)	Pastagem (braquiária)/Floresta	Soja/Floresta	Soja
2016 (inverno)	Floresta	Pastagem (braquiária)	Pastagem (braquiária)/Floresta	Aveia preta/ Floresta	Aveia preta
2016/17 (verão)	Floresta	Pastagem (braquiária)	Pastagem (braquiária)/Floresta	Soja/Floresta	Soja
2017 (inverno)	Floresta	Pastagem (braquiária)	Pastagem (braquiária)/Floresta	Aveia preta/ Floresta	Aveia preta
2017/18 (verão)	Floresta	Pastagem (braquiária)	Pastagem (braquiária)/Floresta	Soja/Floresta	Soja
2018 (inverno)	Floresta	Pastagem (braquiária)	Pastagem (braquiária)/Floresta	Milho segunda safra/Floresta	Milho segunda safra

1=floresta solteira de eucalipto grandis; 2= lavouras/pastagem perene de braquiária brizantha BRS Piatã, sem a presença de eucalipto; 3=lavouras/pastagem perene de braquiária brizantha BRS Piatã integradas com renques simples de eucalipto distanciados de 15 a 35 m; 4=lavouras integradas com renques simples de eucalipto distanciados de 15 a 35 m; e 5=lavouras, sem presença de eucalipto e pastagem.

Nas áreas 3 e 4, foram implantados renques simples de eucalipto grandis clone GPC 23, distanciados em 15 a 35 m, com espaçamento entre plantas de 2,5 m, gerando uma população média de 190 árvores/ha. Nas duas áreas, os renques foram alocados em nível, seguindo o terraceamento já existente na gleba. Na área 1, utilizou-se o mesmo clone de eucalipto, sendo usado o espaçamento de 3,0 x 3,0 m (1.110 árvores/ha).

Por ocasião do estabelecimento da URT, a cultura do milho foi semeada em outubro de 2010. Nas áreas 3 e 4, o milho foi implantado espaço entre os renques de eucalipto, deixando-se 1 m entre as plantas do milho e de eucalipto. O manejo das culturas anuais inseridas na URT foi realizado conforme as indicações técnicas em vigor para a região nas diferentes safras. A pastagem de braquiária brizantha (BRS Piatã) foi implantada em 2013 e manejada com altura de pastejo entre 25 e 40 cm, com lotação variável de bovinos machos e fêmeas

O eucalipto foi plantado em novembro de 2010, utilizando 0,25 kg do adubo formulado 08-24-18 (N-P-K) por cova, depositado a 25 cm da planta e 10 cm de profundidade. Antes do plantio das mudas de eucalipto, o solo foi preparado com subsolador nas linhas de plantio (áreas 3 e 4) ou em área total (maciço, área 1). O coroamento das plantas de eucalipto foi realizado mecanicamente, a fim de reduzir a interferência de plantas daninhas. Em abril de 2012, todas as plantas de eucalipto foram podadas até 4 m de altura. Em abril de 2017, foi realizado raleio das árvores, retirando-se 50% dos indivíduos. Nesse procedimento, foram eliminadas as plantas quebradas, bifurcadas ou com crescimento reduzido.

De 2015 a 2018 foram monitoradas as seguintes variáveis atmosféricas na presença ou ausência do componente arbóreo:

- Radiação solar global (RSG)
- Radiação fotossinteticamente ativa (RFA)
- Temperatura do ar (TA)
- Umidade relativa do ar (UR) e
- Umidade absoluta do ar (UA)

A temperatura, a umidade relativa e a umidade absoluta do ar foram medidas ou calculadas continuamente. Já a radiação solar global e a radiação fotossinteticamente ativa foram medidas pontualmente, em datas pré-estabelecidas.

A radiação solar global e a radiação solar fotossinteticamente ativa foram medidas em momentos próximos aos solstícios e equinócios. As leituras foram realizadas nos dias 06/10/2015 (após o equinócio da primavera de 2015), 21/01/2016 (após o solstício de verão 2015/2016), 20/04/2016 (após o equinócio de outono), 25/06/2016 (após o solstício de inverno de 2016) e 11/08/2016 (após o solstício de inverno de 2016).

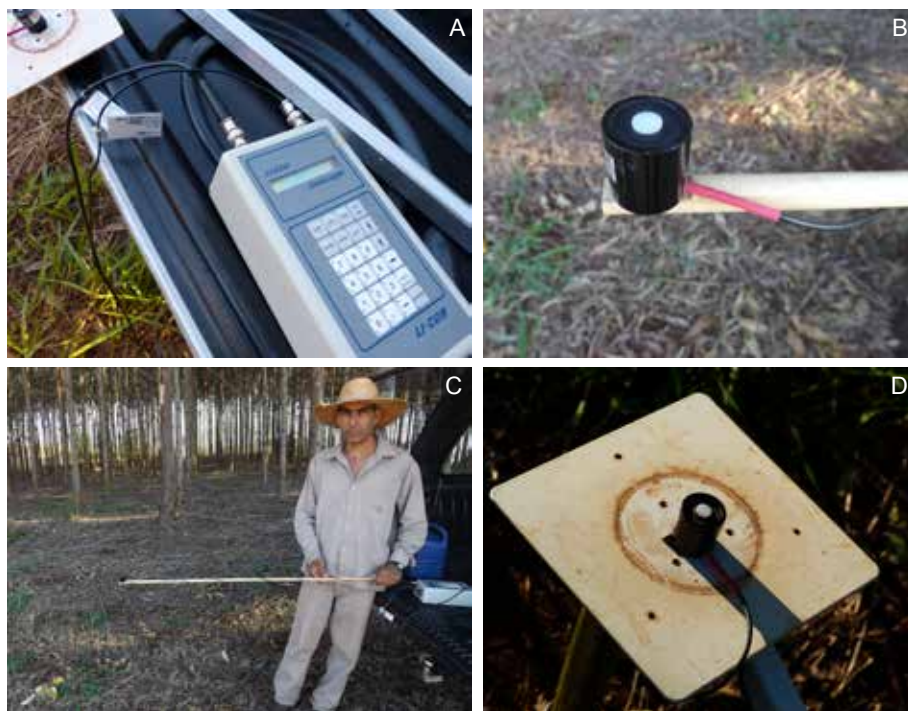
Foram determinados pontos para as coletas em ambas as coberturas (lavoura ou pastagem), sendo avaliados quatro pontos em cada condição de cobertura (Figura 2). Ou seja, tanto na lavoura quanto na pastagem foi considerado um ponto em pleno sol e três pontos na associação com as árvores (dois próximos aos renques e um no centro do entre renque). Em cada ponto foram realizadas duas amostras para ambas as avaliações (RSG e RFA), utilizando a média aritmética destas amostras como o valor correspondente ao local e momento. As medidas para RSG e RFA foram determinadas no mesmo instante com equipamentos e sensores distintos. As leituras foram realizadas em intervalos de uma hora, a partir do nascer até o pôr do Sol, considerando-se a época do ano.



Figura 2. Pontos de amostragem para radiação solar global (RSG) e radiação solar fotossinteticamente ativa (RFA)

Fonte: Imagem gerada no Google Maps© em 11/03/2016. Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/@-23.4799208,-50.985339,864m/data=!3m1!1e3>>. Acesso em: 23 out. 2019.

A RSG foi medida por um piranômetro (LI-200, LI-COR), acoplado a um *data-logger* (LI-1000, LI-COR) (Figuras 3A, 3B). As leituras foram realizadas acima do dossel da cultura instalada (lavoura ou pastagem), mantendo sempre a mesma altura em relação ao solo. O sensor foi mantido em nível, com o operador de frente para o Sol, isto é, sem sombras provocadas pelo operador sobre o sensor (Figura 3C, 3D).



Fotos: Rubson N. R. Sibaldelli

Figura 3. Sensores utilizados e leituras realizadas para determinação da radiação solar global (RSG).

A RFA foi medida por um sensor em barra (*Line Quantum Sensor*, LI-191, LI-COR), acoplado ao mesmo *data logger* (LI-1000, LI-COR) utilizado nas leituras da RSG. As leituras foram realizadas no mesmo instante e com a mesma metodologia da RSG (Figura 4).

Fotos: Rubson N. R. Sibaldelli

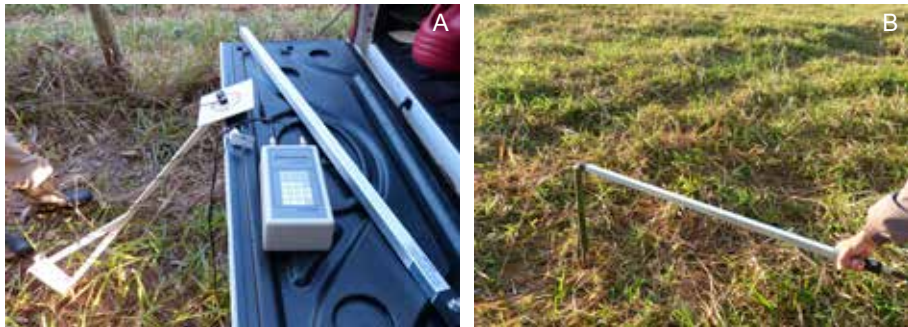


Figura 4. Sensores utilizados e leituras realizadas para determinação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

A temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas com um termohigrógrafo, modelo U-23-001, fabricado pela Hobo (Bourne, Massachusetts, EUA). Os termohigrógrafos foram instalados a 1,5 m de altura do solo, com os sensores de medidas virados para a direção Sul (Figura 5). O monitoramento da temperatura e da umidade relativa do ar foi realizado através de leituras com intervalos de 5 minutos. Houve a necessidade de proteção para os *dataloggers* instalados nas áreas de pastagem, uma vez que os bovinos presentes na área poderiam danificar o equipamento (Figura 5A).

Fotos: Rubson N. R. Sibaldelli



Figura 5. Vista dos termohigrógrafos instalados na Pastagem (A) e Lavoura (B).

A umidade absoluta do ar foi calculada utilizando os parâmetros medidos de temperatura do ar e umidade relativa do ar, utilizando-se a seguinte equação:

$$UA = UR * 1330 * \frac{(17,62 * TA)}{e^{(TA+243,12)}} / (TA + 273,16)$$

Radiação solar

A interceptação da radiação solar pelo componente arbóreo pode limitar expressivamente a fotossíntese, o crescimento e a produtividade de culturas agrícolas ou pastagens cultivadas em sub-bosque (Franchini et al., 2018). Nesse sentido, a quantificação da RSG e RFA disponível no sub-bosque, em diferentes épocas do ano e posições no entre renque, é fundamental para o entendimento das relações de competição mútua por luz entre as árvores e culturas/pastagens associadas.

Em outubro de 2015, verificou-se redução expressiva da RSG em função da presença de renques de eucalipto, tanto nas áreas de pastagem quanto de lavoura (Figura 6). A RSG nos entre renques foi muito variável durante o dia, em função da variabilidade temporal/espacial da sombra oriunda das árvores. É importante salientar que nos momentos em que a área foi sombreada, a RSG ficou abaixo de 200 W m^{-2} - aproximadamente 1/5 da RSG observada sem a presença de árvores ao meio dia.

A radiação fotossinteticamente ativa (RFA), que corresponde à radiação de comprimento de onda de 400 a 700 nm, também foi alterada pela presença de renques de eucalipto em outubro de 2015. Em pleno sol, tanto na lavoura quanto na pastagem, a RFA tendeu a ter um pico máximo próximo do meio dia (Figura 7). Nos entre renques, as maiores reduções de RFA em decorrência da sombra ocorreram no início da manhã e no final da tarde. Nas proximidades dos renques, a RFA variou significativamente durante o dia, de acordo com a interceptação da radiação pelo componente arbóreo. Isso indica que as culturas graníferas ou pastagens em sub-bosque são submetidas a variações drásticas de RFA durante o dia, o que certamente provoca alterações fisiológicas relevantes nas plantas cultivadas em sub-bosque. Nos momentos de baixa incidência de RFA a fotossíntese é prejudicada, tornando a baixa radiação um fator limitante ao crescimento e produção de plantas integradas às árvores.

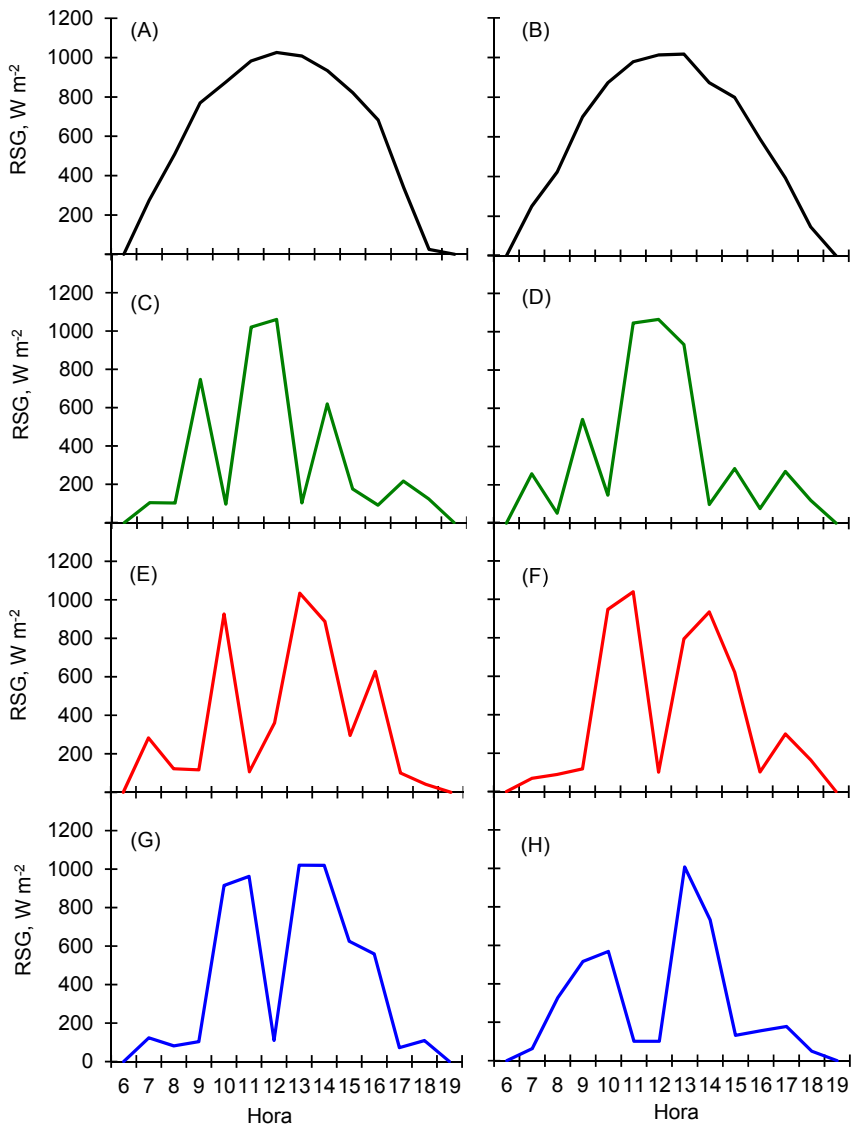


Figura 6. Radiação solar global (RSG) medida em 06/10/15, nas áreas sob pastagem (A, C, E, G) e lavoura (B, D, F, H), em pleno sol (A, B), no centro dos entre renques (C, D), e nas proximidades dos renques 1 (E, F) e 2 (G, H) de eucalipto grandis. Londrina, PR.

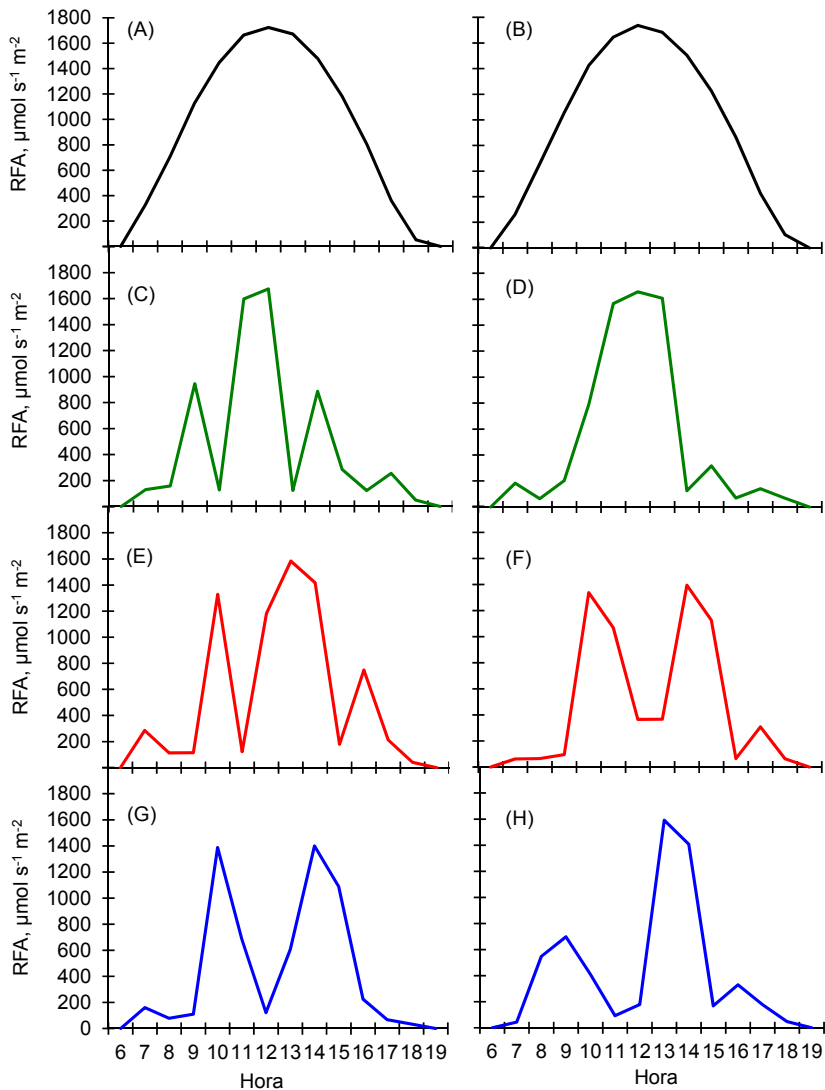


Figura 7. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medida em 06/10/15, nas áreas sob pastagem (A, C, E, G) e lavoura (B, D, F, H), em pleno sol (A, B), no centro dos entre renques (C, D), e nas proximidades dos renques 1 (E, F) e 2 (G, H) de eucalipto grandis. Londrina, PR.

Por meio de cálculo integral, foi possível estimar a área abaixo da curva de RSG e RFA no dia 06/10/15 (Figura 8). Nas áreas em pleno sol, a RSG foi de 136 mol m^{-2} e 133 mol m^{-2} para as áreas de pastagem e lavoura, respectivamente. Por outro lado, na média das três posições do entre renque, a RSG foi de 83 mol m^{-2} para a pastagem e 77 mol m^{-2} na lavoura. Ou seja, a redução de RSG ocasionada pelo eucalipto foi de 39% e 42% na pastagem e na lavoura. Nas áreas em pleno sol, a RFA foi de 45 mol m^{-2} , tanto na área de pastagem quanto de lavoura. Na média das três posições do entre renque, a RFA foi de 23 mol m^{-2} para a pastagem e 22 mol m^{-2} na lavoura. Assim, a redução de RFA ocasionada pelo eucalipto foi de 48% e 51% na pastagem e na lavoura. Outro ponto que merece destaque é que houve pouca variação de RSG e RFA entre as três posições dos entre renques.

A relação RFA/RSG também foi influenciada pelos renques. Ou seja, além dos renques interceptarem a radiação solar, há maior interceptação proporcional da RFA em detrimento da RSG. Por exemplo, na área 5 (lavoura em pleno sol) a relação RFA/RSG foi 30% maior do que no sub-bosque próximo do renque 1. Essa informação tem elevada relevância prática, já que as culturas de grãos ou as pastagens cultivadas em sub-bosque aproveitam a RFA para realização do processo fotossintético. Uma linha de pesquisa relevante é avaliar o impacto da redução da RFA sobre a fisiologia de culturas de grãos e pastagem e, com isso, estimar o efeito da competição por luz sobre essas espécies, uma vez que a competição por luz ocorre simultaneamente à disputa por água e nutrientes.

Diferentemente ao observado em outubro de 2016, em janeiro houve variações expressivas na RSG em pleno sol durante o dia, em decorrência da maior presença de nuvens (Figura 9). Em janeiro de 2016, observou-se redução expressiva na RSG em razão da presença de renques de eucalipto. Na área integrada de pastagem com floresta, no centro do entre renque, a RSG não ultrapassou 800 W m^{-2} em nenhum momento do dia (Figura 9C), enquanto que em pleno sol a RSG passou de 1000 W m^{-2} em vários momentos. A RFA também foi fortemente reduzida pelos renques de eucalipto em janeiro de 2016, principalmente no período matutino, mesmo no centro do entre renque (Figura 10). Isso ocorreu porque no momento da avaliação o eucalipto já possuía seis anos de idade, ou seja, as plantas apresentavam elevada altura (aproximadamente 28 m), gerando sombra mesmo no centro do entre renque.

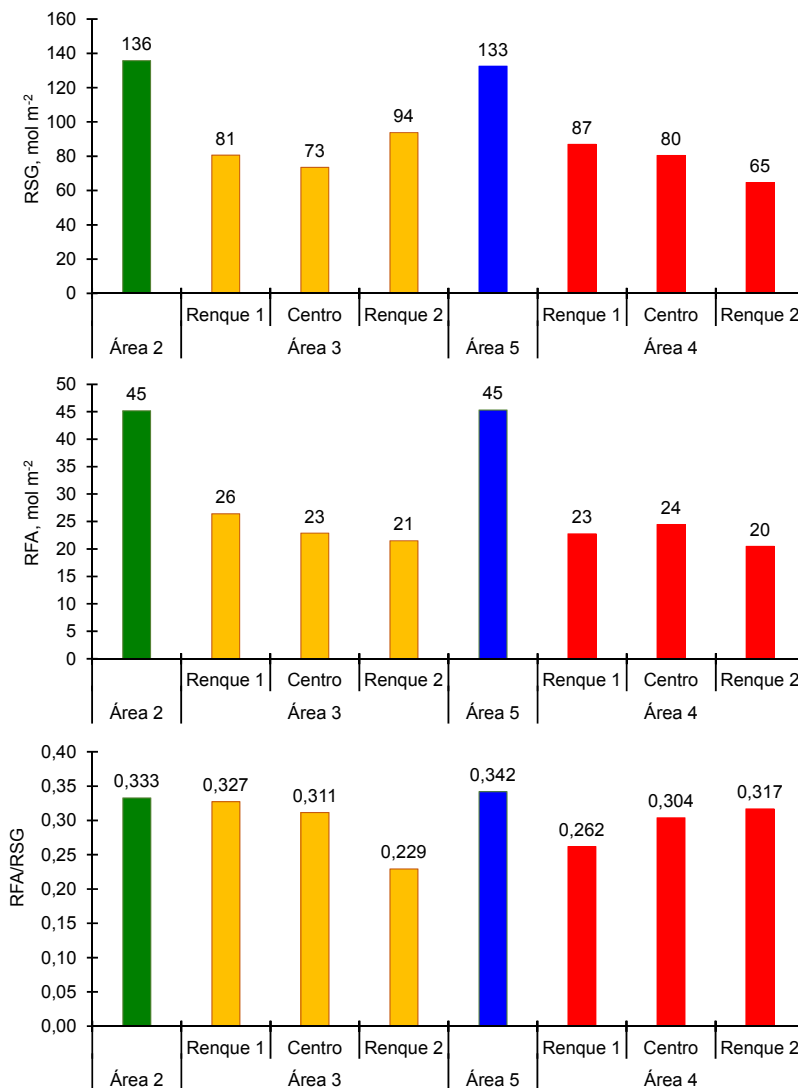


Figura 8. Total de radiação solar global (RSG) e fotossinteticamente ativa (RFA) e relação RFA/RSG, medidas em 06/10/15, nas áreas sob pastagem e lavoura, em cultivo exclusivo (áreas 2 e 5, respectivamente) ou integrado a renques de eucalipto grandis (áreas 3 e 4, respectivamente). Nas áreas 3 e 4, as medidas foram tomadas no centro dos entre renques e nas proximidades dos renques 1 e 2. Londrina, PR.

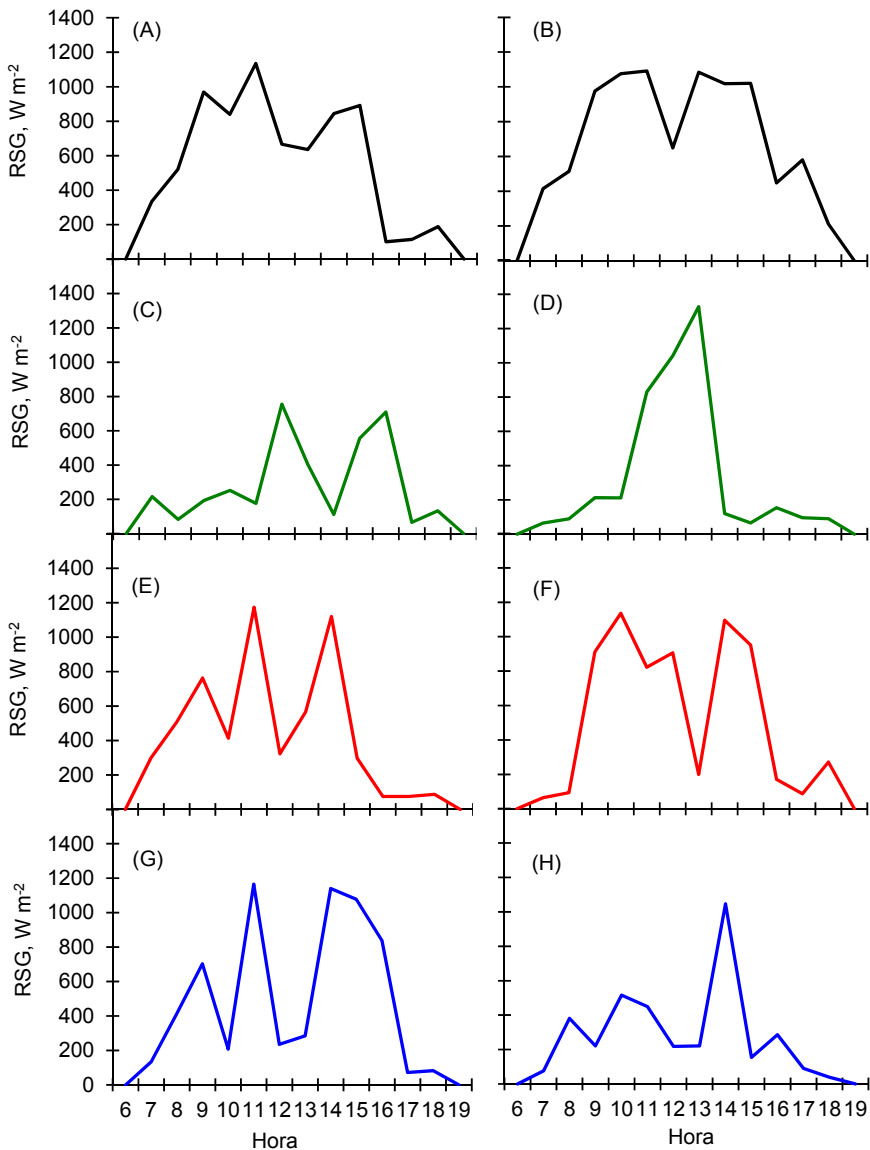


Figura 9. Radiação solar global (RSG) medida em 21/01/16, nas áreas sob pastagem (A, C, E, G) e lavoura (B, D, F, H), em pleno sol (A, B), no centro dos entre renques (C, D), e nas proximidades dos renques 1 (E, F) e 2 (G, H) de eucalipto grandis. Londrina, PR.

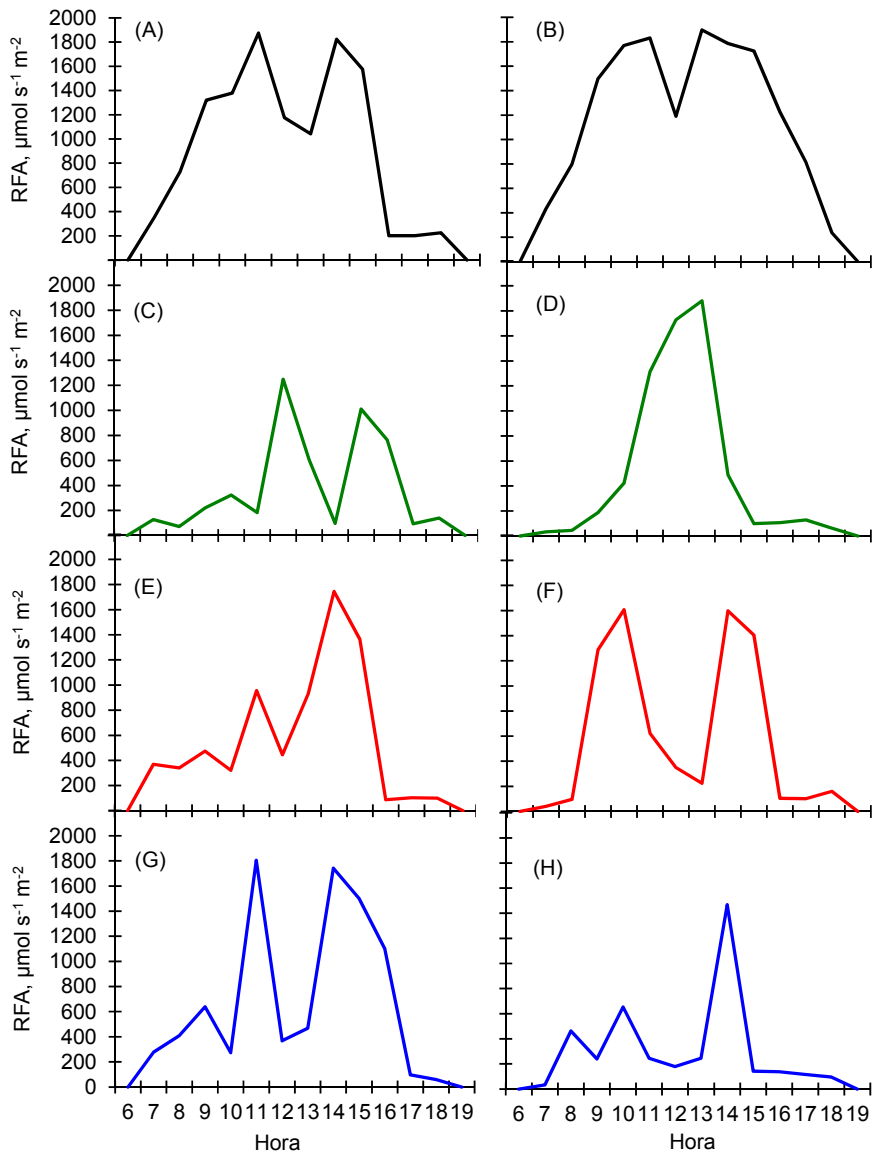


Figura 10. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medida em 21/01/16, nas áreas sob pastagem (A, C, E, G) e lavoura (B, D, F, H), em pleno sol (A, B), no centro dos entre renques (C, D), e nas proximidades dos renques 1 (E, F) e 2 (G, H) de eucalipto grandis. Londrina, PR.

Na avaliação realizada no dia 21/01/16, nas áreas em pleno sol, a RSG foi de 119 mol m^{-2} e 149 mol m^{-2} para as áreas de pastagem e lavoura, respectivamente (Figura 11). Por outro lado, na média das três posições do entre renque, a RSG foi de 86 mol m^{-2} para a pastagem e 81 mol m^{-2} na lavoura. Nesse sentido, a redução de RSG ocasionada pelo eucalipto foi de 28% e 46% na pastagem e na lavoura. Nas áreas em pleno sol, a RFA foi de 43 mol m^{-2} na pastagem e 55 mol m^{-2} na lavoura. Na média das três posições do entre renque, a RFA foi de 25 mol m^{-2} para a pastagem e 21 mol m^{-2} na lavoura. Portanto, a redução de RFA ocasionada pelo eucalipto foi de 42% e 62% na pastagem e na lavoura. Enfatiza-se que, em geral, houve pouca variação de RSG e RFA entre as três posições dos entre renques, como observado em avaliações anteriores.

Assim como observado em outubro de 2015, em janeiro de 2016 a relação RFA/RSG foi menor nos entre renques em relação ao pleno sol (Figura 11). Na área 3 (pastagem associada com eucalipto), na média das três posições do entre renque, a relação RFA/RSG foi 19% menor que em pleno sol - área 5. Na área 4 (lavouras associadas com eucalipto), na média das três posições do entre renque, a relação RFA/RSG foi 25% menor em comparação à lavoura em pleno sol.

Em abril de 2016, constatou-se que a RSG na pastagem e na lavoura em pleno sol atingiu aproximadamente 900 W m^{-2} no início da tarde (Figura 12). Nas áreas em sub-bosque esse valor também foi atingido, mas em momentos pontuais, pois, no geral, a RSG foi muito inferior do que em pleno sol, assim como observado nas duas avaliações anteriores. Esse comportamento foi semelhante para a RFA (Figura 13). Das 10h às 15h - período de maior RFA - nas posições próximas dos renques, houve momentos em que a RFA foi de apenas 10% da observada em pleno sol, indicando elevada interceptação de radiação pelo dossel do eucalipto.

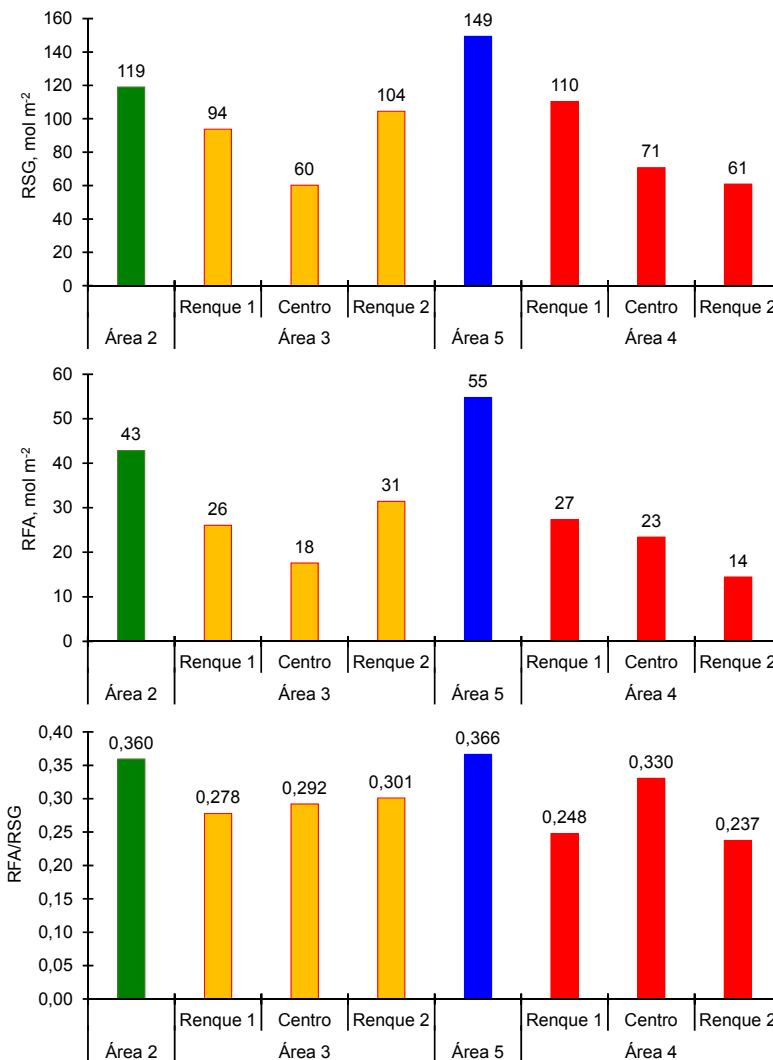


Figura 11. Total de radiação solar global (RSG) e fotossinteticamente ativa (RFA), e relação RFA/RSG, medidas em 21/01/16, nas áreas sob pastagem e lavoura, em cultivo exclusivo (áreas 2 e 5, respectivamente) ou integrado a renques de eucalipto grandis (áreas 3 e 4, respectivamente). Nas áreas 3 e 4, as medidas foram tomadas no centro dos entre renques e nas proximidades dos renques 1 e 2. Londrina, PR.

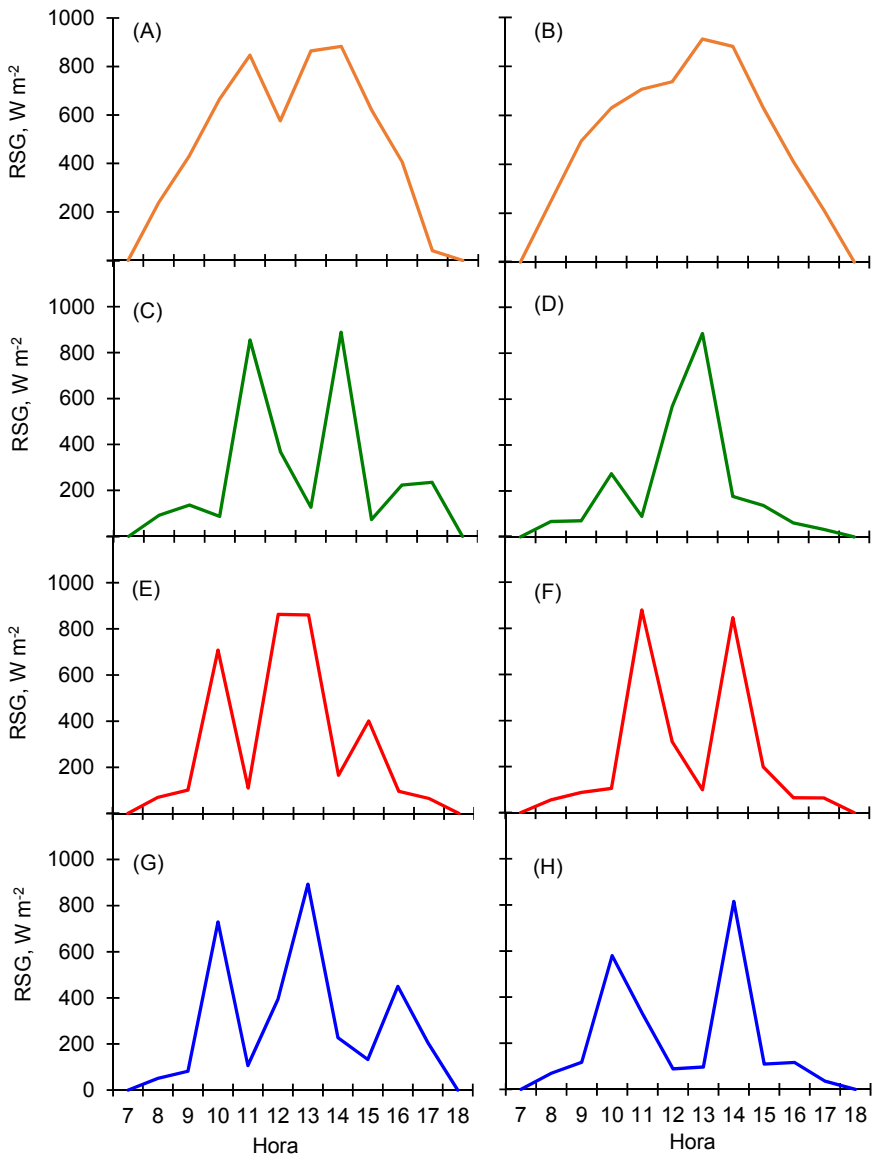


Figura 12. Radiação solar global (RSG) medida em 20/04/16, nas áreas sob pastagem (A, C, E, G) e lavoura (B, D, F, H), em pleno sol (A, B), no centro dos entre riques (C, D), e nas proximidades dos riques 1 (E, F) e 2 (G, H) de eucalipto grandis. Londrina, PR.

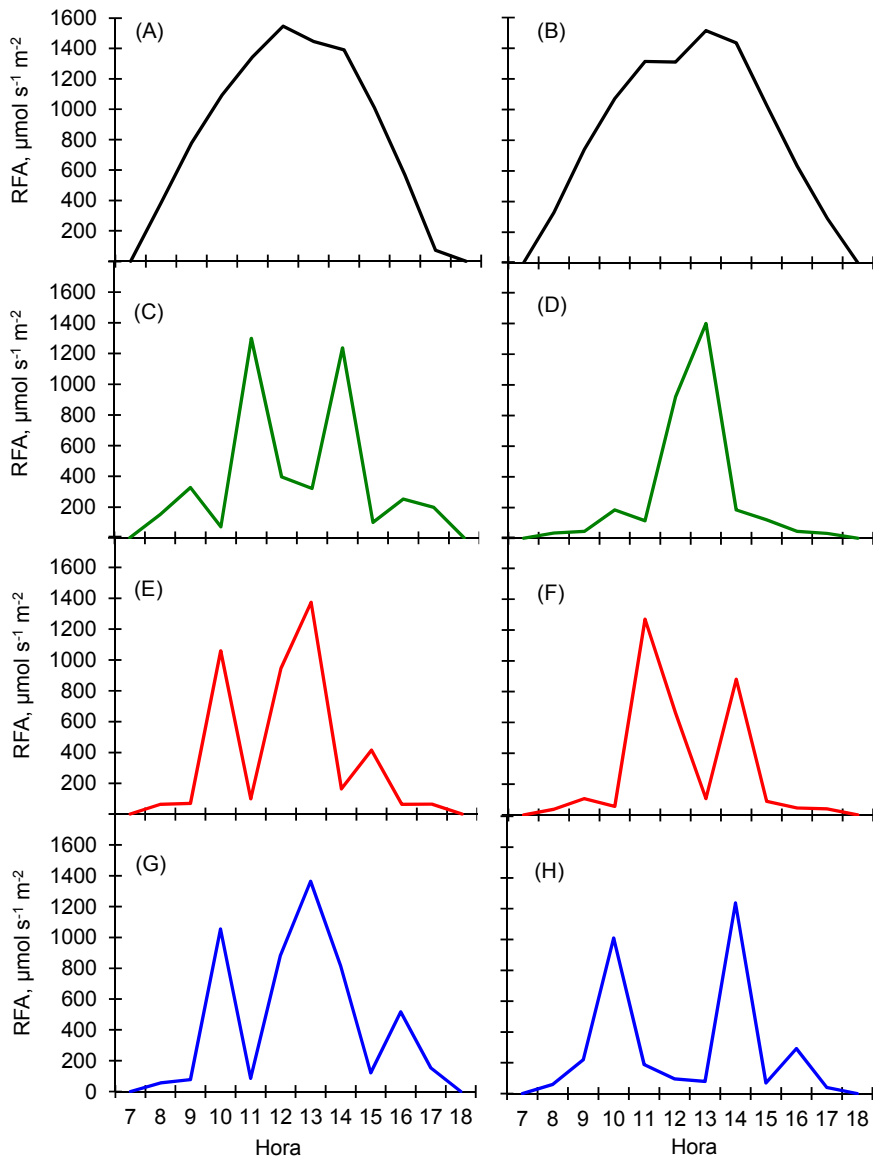


Figura 13. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medida em 20/04/16, nas áreas sob pastagem (A, C, E, G) e lavoura (B, D, F, H), em pleno sol (A, B), no centro dos entre renques (C, D), e nas proximidades dos renques 1 (E, F) e 2 (G, H) de eucalipto grandis. Londrina, PR.

Na avaliação realizada no dia 20/04/16, nas áreas em pleno sol, a RSG foi de 92 mol m⁻² e 96 mol m⁻² para as áreas de pastagem e lavoura, respectivamente (Figura 14). Por outro lado, na média das três posições do entre renque, a RSG foi de 54 mol m⁻² para a pastagem e 41 mol m⁻² na lavoura. Desta forma, a redução de RSG ocasionada pelo eucalipto foi de 41% e 57% na pastagem e na lavoura. Nas áreas em pleno sol, a RFA foi de 35 mol m⁻² na pastagem e na lavoura. Na média das três posições do entre renque, a RFA foi de 17 mol m⁻² para a pastagem e 12 mol m⁻² na lavoura. Portanto, a redução de RFA ocasionada pelo eucalipto foi de 51% e 66% na pastagem e na lavoura. Assim como nas avaliações realizadas em outubro e janeiro, em geral, houve pouca variação de RSG e RFA entre as três posições dos entre renques.

Em abril de 2016, a relação RFA/RSG foi menor nos entre renques em relação ao pleno sol, tal qual averiguado nas avaliações anteriores (Figura 14). Na área 3 (pastagem associada com eucalipto), na média das três posições do entre renque, a relação RFA/RSG foi 18% menor que em pleno solo - área 5. Na área 4 (lavouras associadas com eucalipto), na média das três posições do entre renque, a relação RFA/RSG foi 21% menor em relação à lavoura em pleno sol, demonstrando mais uma vez que a redução proporcional da RFA em função dos renques foi maior do que a RSG.

Em junho de 2016, momento em que a radiação solar é baixa, comparativamente aos demais meses do ano - solstício de inverno - constatou-se redução expressiva na radiação solar global (RSG) em função da presença de renques de eucalipto (Figura 15). Nas áreas em pleno sol, a RSG não ultrapassou 700 W m⁻². Na área de pastagem integrada à floresta, a redução da RSG ocorreu em praticamente todos os horários, enquanto na área de lavoura integrada à floresta, a redução da RSG decorrente da presença de eucalipto foi mais intensa no período matutino. Provavelmente isso ocorreu em função da posição dos renques na área. De forma geral, em todos os horários de avaliação, a RFA foi menor no sub-bosque do que em pleno sol. Nessa época do ano, isso é um fator muito restritivo ao crescimento de espécies de grãos ou pastagens, pois a radiação disponível em pleno sol é reduzida.

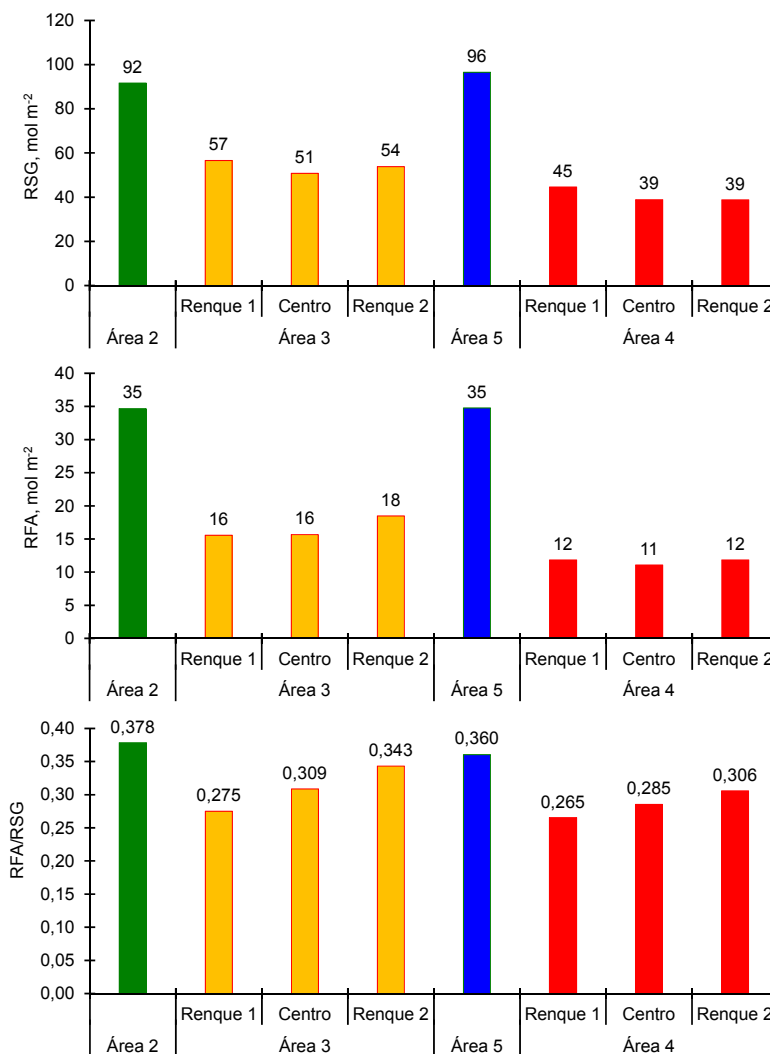


Figura 14. Total de radiação solar global (RSG) e fotossinteticamente ativa (RFA), e relação RFA/RSG, medidas em 20/04/16, nas áreas sob pastagem e lavoura, em cultivo exclusivo (áreas 2 e 5, respectivamente) ou integrado a renques de eucalipto grandis (áreas 3 e 4, respectivamente). Nas áreas 3 e 4, as medidas foram tomadas no centro dos entre renques e nas proximidades dos renques 1 e 2. Londrina, PR.

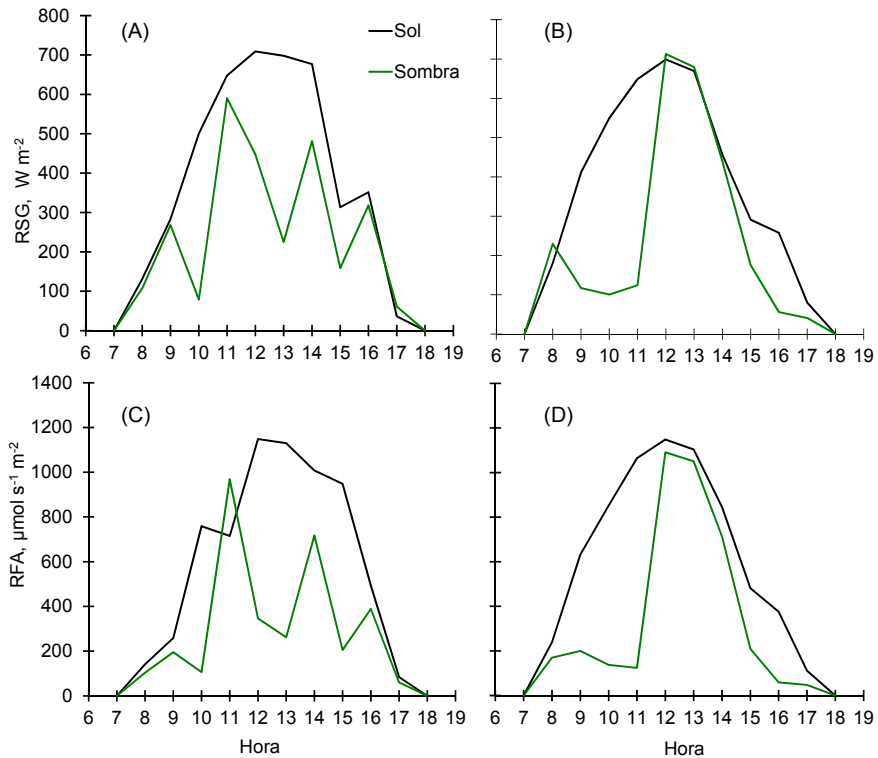


Figura 15. Radiação solar global (RSG) (A, B) e fotossinteticamente ativa (RFA) (C,D), medidas em 25/06/16, nas áreas sob pastagem (A, C) ou lavoura (B, D), na ausência (sol) ou presença (sombra) dos renques de eucalipto grandis. Londrina, PR.

Em agosto de 2016, verificou-se que a RSG na pastagem e na lavoura em pleno sol atingiu aproximadamente 1000 W m^{-2} no início da tarde (Figura 16). Nas áreas em sub-bosque, no centro do entre renque, esse valor também foi atingido, mas em momentos pontuais, pois no geral a RSG foi muito inferior do que em pleno sol, assim como observado nas avaliações anteriores. Esse comportamento foi semelhante para a RFA (Figura 17). Das 10h às 15h - período de maior RFA - nas posições próximas dos renques, houve momentos em que a RFA foi de apenas 10% da observada em pleno sol, indicando, mais uma vez, elevada interceptação de radiação pelo dossel do eucalipto.

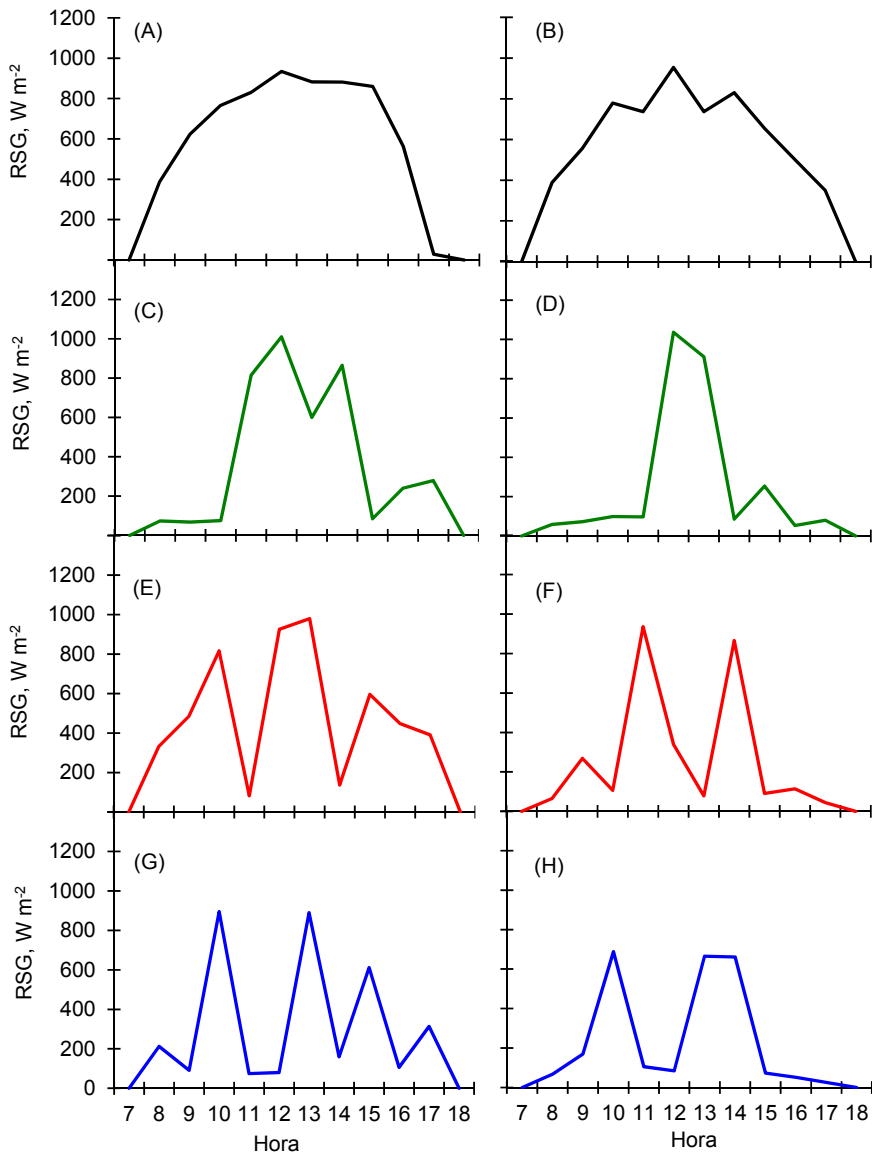


Figura 16. Radiação solar global (RSG) medida em 11/08/16, nas áreas sob pastagem (A, C, E, G) e lavoura (B, D, F, H), em pleno sol (A, B), no centro dos entre renques (C, D), e nas proximidades dos renques 1 (E, F) e 2 (G, H) de eucalipto grandis. Londrina, PR.

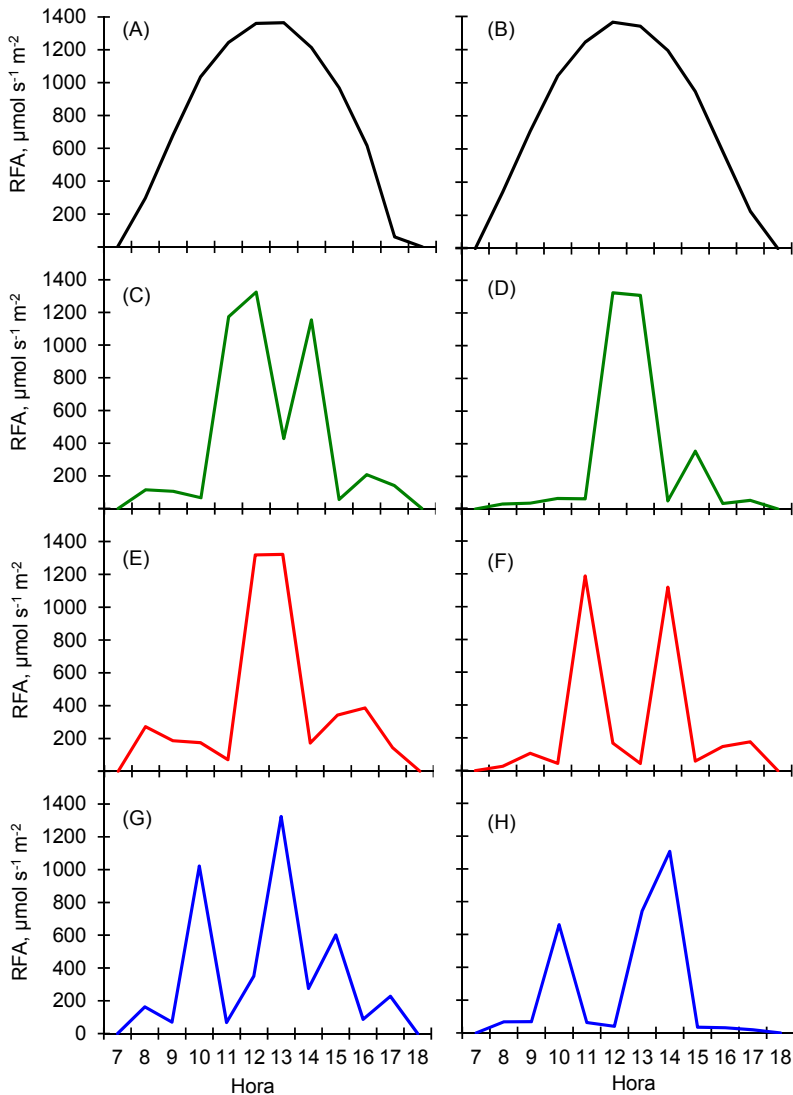


Figura 17. Radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medida em 11/08/16, nas áreas sob pastagem (A, C, E, G) e lavoura (B, D, F, H), em pleno sol (A, B), no centro dos entre renques (C, D), e nas proximidades dos renques 1 (E, F) e 2 (G, H) de eucalipto grandis. Londrina, PR.

Em avaliação realizada no dia 11/08/16, nas áreas em pleno sol, a RSG foi de 111 mol m^{-2} e 107 mol m^{-2} para as áreas de pastagem e lavoura, respectivamente (Figura 18). Na média das três posições do entre renque, a RSG foi de 70 mol m^{-2} para a pastagem e 44 mol m^{-2} na lavoura. Desta forma, a redução de RSG ocasionada pelo eucalipto foi de 37% e 58% na pastagem e na lavoura. Nas áreas em pleno sol, a RFA foi de 32 mol m^{-2} na pastagem e na lavoura. Na média das três posições do entre renque, a RFA foi de 16 mol m^{-2} para a pastagem e 11 mol m^{-2} na lavoura. Assim, a redução de RFA ocasionada pelo eucalipto foi de 50% e 66% na pastagem e na lavoura. Assim como nas avaliações realizadas anteriormente, em geral, houve pouca variação de RSG e RFA entre as três posições dos entre renques.

Em agosto de 2016, a relação RFA/RSG foi menor nos entre renques em relação ao pleno sol, tal qual averiguado nas avaliações anteriores (Figura 18). Na área 3 (pastagem associada com eucalipto), na média das três posições do entre renque, a relação RFA/RSG foi 18% menor que em pleno solo - área 5, valor idêntico ao observado na avaliação realizada em 20/04/2016. Na área 4 (lavouras associadas com eucalipto), na média das três posições do entre renque, a relação RFA/RSG foi 19% menor em relação à lavoura em pleno sol, valor também semelhante ao observado nas avaliações anteriores. Nesse contexto, de forma geral, é possível inferir que a presença de renques simples de eucalipto com seis anos de idade, distanciados em 30 m, reduz a relação RFA/RSG em, aproximadamente, 20%.

A disponibilidade de radiação solar é um dos fatores que mais limitam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Toda a energia necessária à fotossíntese é proveniente da radiação solar (Taiz et al., 2017). A taxa fotossintética líquida pode ser relacionada à RFA (Erismann et al., 2006). Outros estudos também demonstraram a relação direta entre a biomassa produzida e RFA disponível às plantas (Lindquist et al., 2005). O Índice de Favorabilidade de radiação (IFrad) é uma variável quantitativa e relativa à condição de disponibilidade de radiação em que a taxa fotossintética é máxima e que resultaria em crescimento ótimo, ou seja, $\text{IFrad} = 1,0$. O inverso, $\text{IFrad} = 0$, ocorre em condição de RFA tão baixa que resulte em fotossíntese líquida nula ou crescimento nulo, o que corresponderia ao ponto de compensação luminoso. Dessa forma, o IFrad é um indicador proporcional ao crescimento esperado de uma cultura, desde que não haja outros fatores limitantes (Monteiro, 2009).

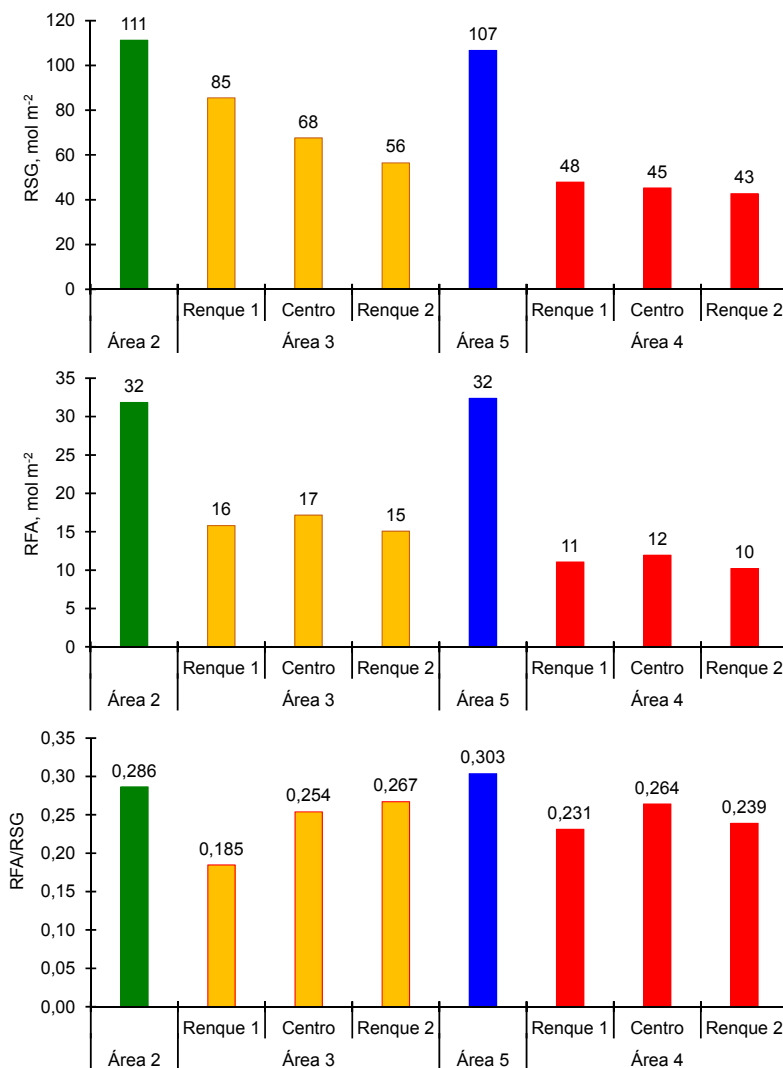


Figura 18. Total de radiação solar global (RSG) e fotossinteticamente ativa (RFA), e relação RFA/RSG, medidas em 11/08/16, nas áreas sob pastagem e lavoura, em cultivo exclusivo (áreas 2 e 5, respectivamente) ou integrado a renques de eucalipto grandis (áreas 3 e 4, respectivamente). Nas áreas 3 e 4, as medidas foram tomadas no centro dos entre renques e nas proximidades dos renques 1 e 2. Londrina. PR.

O IFrad foi superior no ambiente em pleno sol, comparativamente ao sombreado pelos renques de eucalipto (Figura 19). No entanto, salienta-se que mesmo em pleno sol o IFrad ficou abaixo de 1,0, sobretudo para espécies com metabolismo fotossintético C4, em que o requerimento de RFA é maior do que das espécies C3. Na área com pastagem, na média das quatro avaliações e das três posições do entre renque, a presença do eucalipto reduziu o IFrad em 35% e 36% para espécies de plantas C3 e C4, respectivamente. Por sua vez, na área com lavouras, na média das quatro avaliações e das três posições do entre renque, a presença do eucalipto reduziu o IFrad em 46% e 51% para espécies de plantas C3 e C4, respectivamente. Provavelmente na área de lavoura o impacto dos renques na redução do IFrad foi maior do que na área de pasto em função da declividade voltada para o sul, em que a radiação é menor do que em áreas voltadas para o norte, no hemisfério sul. Adicionalmente, as maiores reduções do IFrad ocorreram nas avaliações realizada em agosto e abril, quando a disponibilidade de radiação é menor. Ou seja, nos meses de inverno, o impacto das árvores na redução do IFrad é maior do que em meses de verão, o que pode limitar expressivamente a produção de grãos ou forragem em sub-bosque.

De forma geral, o IFrad variou pouco entre as três posições no entre renque, nas quatro épocas de avaliação (Figura 19). Isso ocorreu porque no período de avaliação as plantas de eucalipto já estavam com seis anos e altura aproximada de 28 m, ocasionando o sombreado de todo o entre renque. Isso explica, em parte, a redução de produtividade de soja, milho, trigo e braquiária em toda a extensão do entre renque, observada na URT, em relação ao cultivo dessas espécies em pleno sol (Franchini et al., 2018). No entanto, é necessário considerar que essa redução de produtividade também pode decorrer da competição por água e nutrientes.

Nesse contexto, os resultados ora apresentados indicam que há grande restrição de disponibilidade de radiação solar à pastagem e às culturas de grãos provocada pelo componente arbóreo. Por isso, há necessidade de pesquisas no sentido de avaliar outras conformações de renques, com maior espaçamento e menor quantidade de árvores por área, sobretudo se o foco do negócio for a produção de grãos, carne ou leite. Também é relevante avaliar se há variabilidade entre cultivares de espécies graníferas e entre espécies/cultivares forrageiras, a fim de reduzir as perdas decorrentes da interferência exercida pelo componente arbóreo.

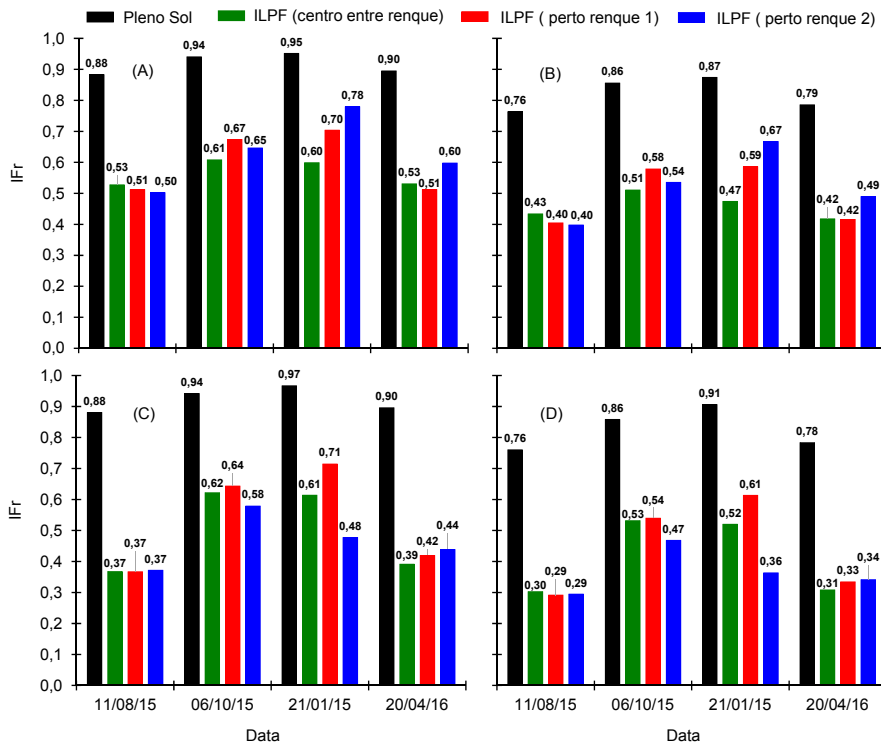


Figura 19. Índice de favorabilidade de radiação solar (IFr) para espécies vegetais C3 (A, C) e C4 (B, D), determinado em diferentes épocas do ano, a pleno sol nas áreas 2 (A, B) e 5 (C, D), e em três posições do entre-renque (centro e próximo aos renques 1 e 2) nos sistemas ILPF nas áreas 3 (A, B) e 4 (C, D). Londrina/PR.

Temperatura do ar

Uma variável atmosférica que afeta diretamente o metabolismo das plantas é a temperatura do ar, a qual determina também a temperatura do solo, que, por sua vez, pode influenciar importantes processos edáficos, como respiração microbiana e decomposição da matéria orgânica (Taiz et al., 2017). Além disso, a temperatura do ar interfere diretamente no conforto térmico de animais em pastejo e, em consequência, na sua produtividade (Souza et al., 2010; Domiciano et al., 2016). Uma alternativa para reduzir os picos de temperatura, permitindo maior conforto térmico aos animais em pastejo e às forrageiras, é o uso de sistemas silvipastoris (Vieira Junior et al., 2019).

Em avaliações realizadas na URT de 2015 a 2018, constatou-se que as temperaturas nas horas mais quentes do dia foram substancialmente inferiores no centro do entre renque em relação à pastagem em pleno sol (Figuras 20, 21, 22 e 23). Em algumas avaliações, como em junho de 2015 e julho de 2016, a temperatura do ar no início da tarde foi 3°C superior em pleno sol, comparativamente ao sistema integrado com o eucalipto. No entanto, das 10 às 15 h, em geral, as temperaturas em pleno sol foram de 0,5 a 1,5°C superiores às verificadas em sub-bosque, em todos os meses do ano. Esses dados corroboram os obtidos por Vieira Junior et al. (2019) em trabalho realizado no Noroeste do Paraná com sistema silvipastoril.

Na região Sul do Brasil, do ponto de vista da produção de forragem, seria interessante a redução das temperaturas máximas, sobretudo nos meses de dezembro e janeiro. Essa redução de picos de temperatura é relevante para reduzir o estresse por calor, a respiração e a evapotranspiração das plantas forrageiras. Adicionalmente, a redução de temperatura nos meses mais quentes do ano melhora o bem estar animal. Por outro lado, a redução da temperatura durante o dia nos meses de outono e inverno podem provocar reduções no crescimento e desempenho produtivo de algumas espécies forrageiras, sobretudo as tropicais.

No período noturno, as temperaturas foram ligeiramente superiores em sub-bosque do que na ausência do componente arbóreo, em todos os meses do ano (Figuras 20, 21, 22 e 23). Enfatiza-se, contudo, que essa diferença foi pequena, geralmente não ultrapassando 0,1°C. Em regiões que ocorrem geadas, em algumas situações é interessante o aumento da temperatura noturna, reduzindo os danos pelo frio. Como exemplo, cita-se a ocorrência de geadas em pastagens perenes tropicais, como as do gênero *Urochloa* ou *Panicum*, as quais podem reduzir expressivamente a produtividade dessas espécies. Na URT, percebeu-se atenuação expressiva nos danos de geadas na pastagem de braquiária em julho de 2013 (Franchini et al., 2018). Como a diferença de temperatura noturna entre a presença e ausência de renques de eucalipto é relativamente baixa, infere-se que o efeito principal das árvores é sobre as geadas advectivas, que ocorrem por meio da entrada de massa de ar frio, também chamadas de geadas de ventos. Isso ocorre porque os renques se constituem em quebra vento, reduzindo expressivamente a sua velocidade (Brandle et al., 2004).

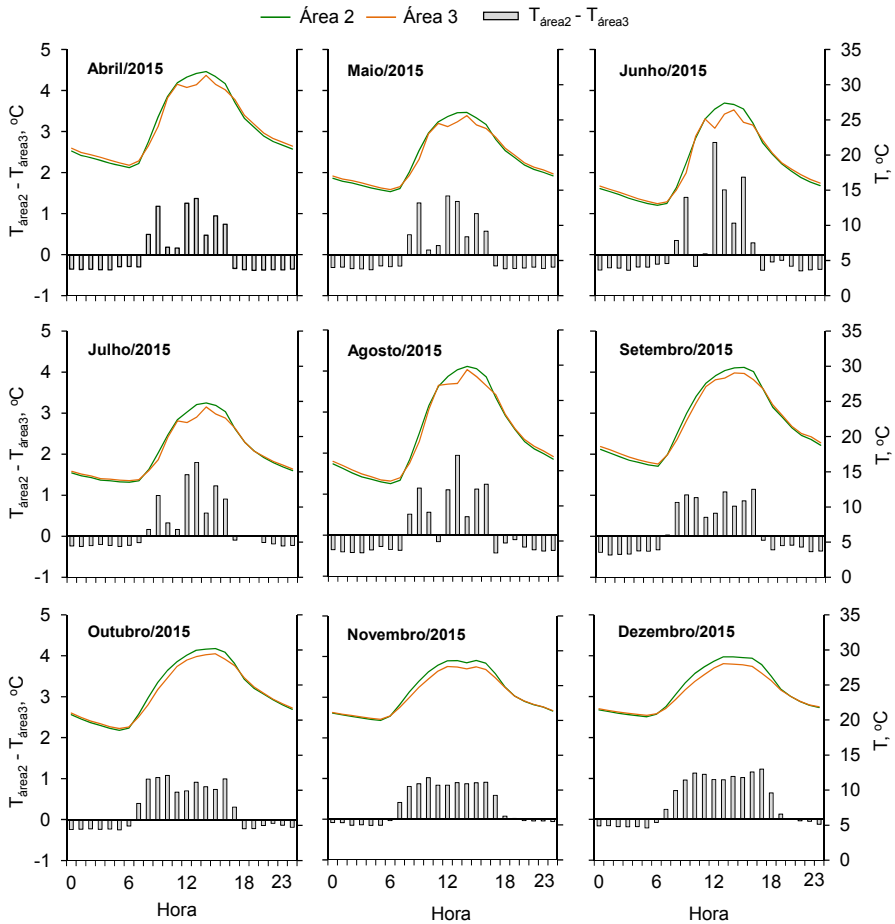


Figura 20. Médias horárias (T , °C) e diferenças de temperatura do ar ($T_{\text{área2}} - T_{\text{área3}}$) entre os sistemas pastagem a pleno sol (área 2) e pastagem integrada a renques de eucalipto grandis (área 3), nos meses de abril a dezembro de 2015. Londrina, PR.

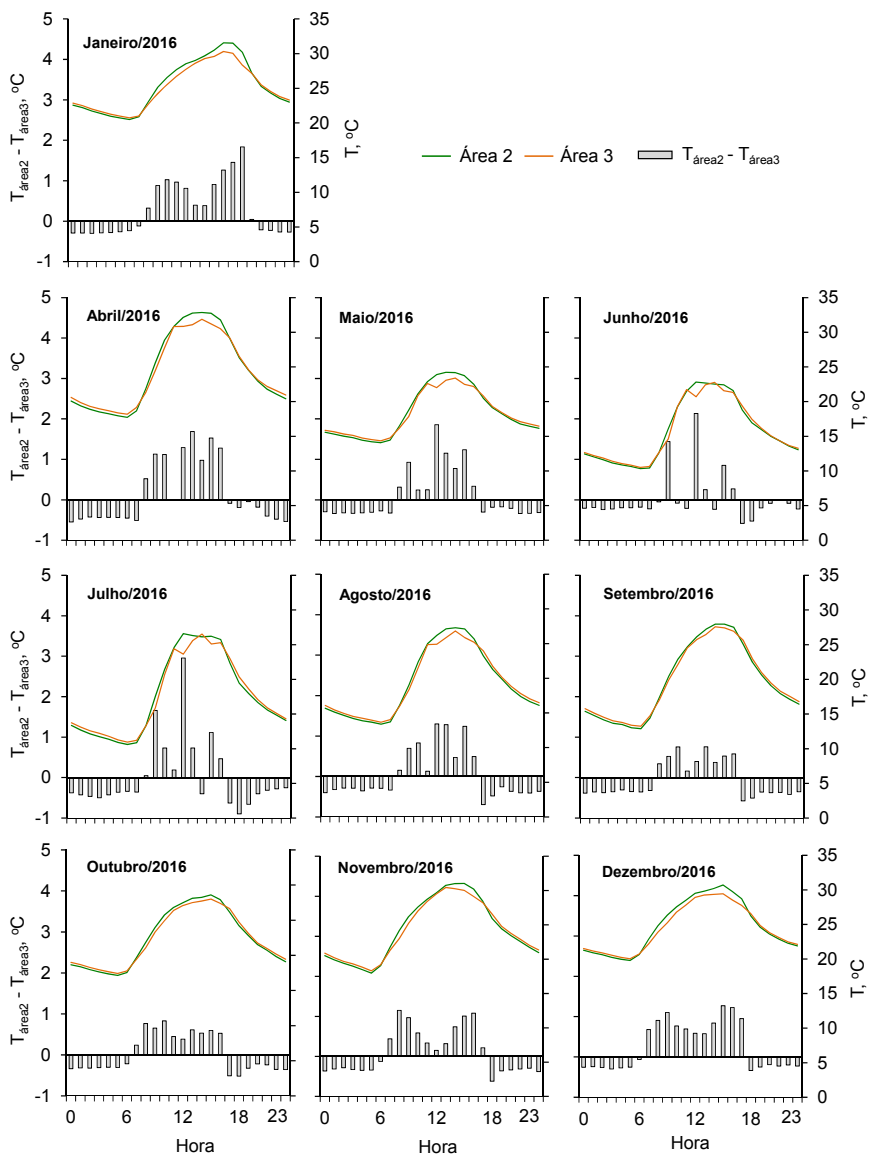


Figura 21. Médias horárias (T , °C) e diferenças de temperatura do ar ($T_{\text{área2}} - T_{\text{área3}}$) entre os sistemas pastagem a pleno sol (área 2) e pastagem integrada a renques de eucalipto grandis (área 3), nos meses de janeiro a dezembro de 2016 (exceto fevereiro e março). Londrina, PR.

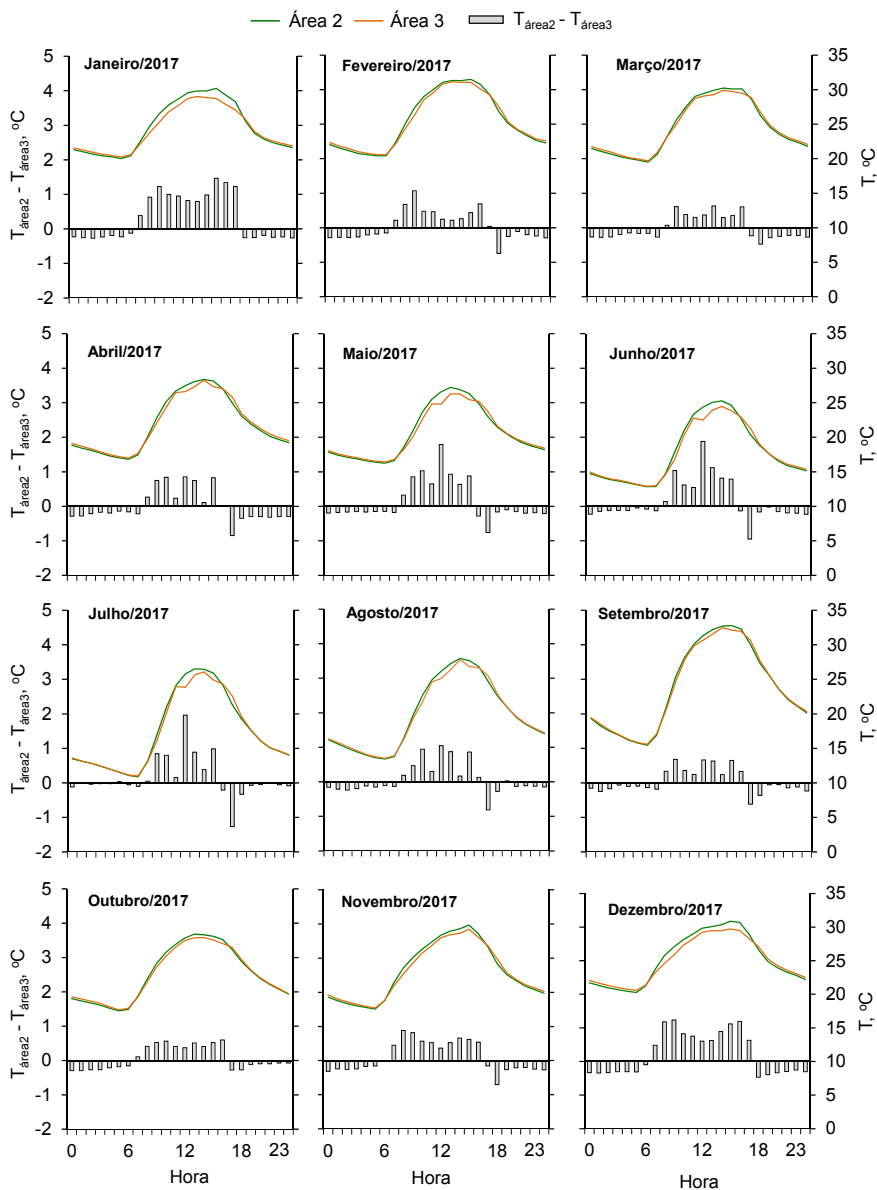


Figura 22. Médias horárias ($T, \text{ }^{\circ}\text{C}$) e diferenças de temperatura do ar ($T_{\text{área2}} - T_{\text{área3}}$) entre os sistemas pastagem a pleno sol (área 2) e pastagem integrada a renques de eucalipto grandis (área 3), nos meses de janeiro a dezembro de 2017. Londrina, PR.

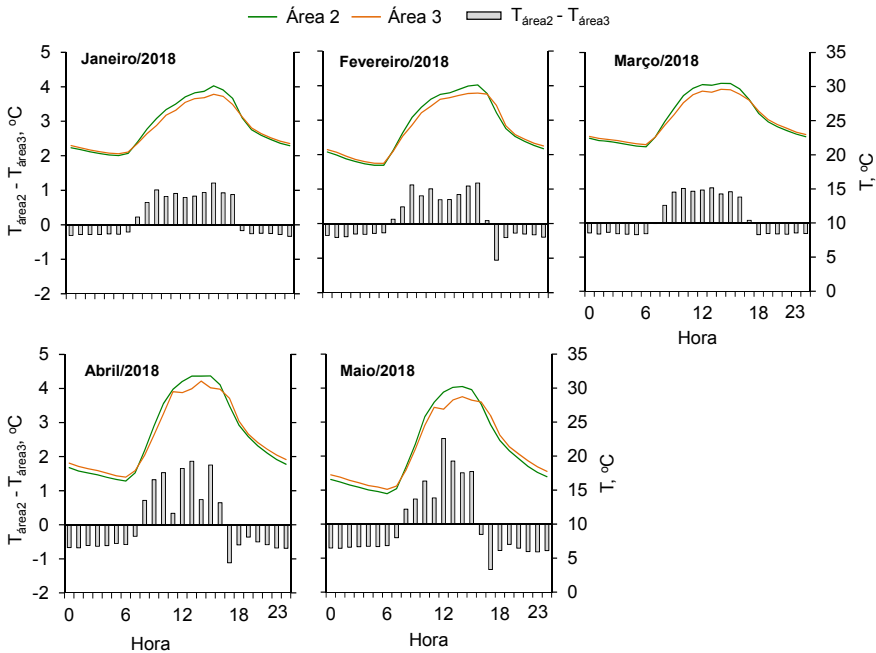


Figura 23. Médias horárias (T , °C) e diferenças de temperatura do ar ($T_{\text{área2}} - T_{\text{área3}}$) entre os sistemas pastagem a pleno sol (área 2) e pastagem integrada a renques de eucalipto grandis (área 3), nos meses de janeiro a maio de 2018. Londrina, PR.

Na URT as maiores temperaturas do ar foram observadas nos meses de janeiro a fevereiro, enquanto as menores ocorreram em junho e julho (Figura 24). Observa-se que, de fato, as temperaturas máximas do ar foram sempre inferiores na pastagem associada com eucalipto em relação à pastagem em pleno sol. Além disso, as diferenças absolutas dessa variação foram superiores nos meses mais quentes do ano. A redução da temperatura durante as horas mais quentes do dia é particularmente importante para melhorar o bem-estar animal, que pode ser considerado como o estado de harmonia entre o animal e seu ambiente, caracterizado por condições físicas e fisiológicas ótimas e alta qualidade de vida do animal. Uma das práticas mais eficientes e econômicas para se reduzir os efeitos indesejáveis do calor excessivo sobre os animais, é o fornecimento de sombra natural utilizando árvores. Estas diminuem a carga de calor decorrente da radiação solar (Gurgel et al., 2012; Aggarwal; Upadhyay, 2013). Os sistemas silvipastoris, embora concebidos inicialmente para a recuperação de solos e pastagens degradadas, têm se

destacado também por melhorarem as condições microclimáticas, com redução do estresse térmico sobre os animais e melhoria do bem-estar animal (Thornton et al., 2009; Broom et al., 2013). Embora os benefícios oferecidos pelas árvores, em termos de melhorias no conforto térmico, sejam amplamente propagados, poucos ainda são os trabalhos na literatura científica que abordam a arborização rural, principalmente em termos quanti-qualitativos (Gurgel et al., 2012).

Em contrapartida, em todos os meses, as temperaturas mínimas tenderam a ser ligeiramente superiores na pastagem associada com o eucalipto, sendo essa diferença também mais intensa nos meses de verão. Para o cálculo da temperatura média do ar, os maiores valores de temperatura mínima compensaram grande parte das menores temperaturas máximas na pastagem associada com eucalipto, por isso, a temperatura mensal média foi muito similar entre a pastagem em pleno sol ou com renques de eucalipto (Figura 24).

Um fator muito relevante a ser levado em consideração é que amplitude térmica diária foi expressivamente superior na pastagem em pleno sol, uma vez que nessa situação há maior aquecimento durante o dia e maior resfriamento à noite. A diferença de amplitude térmica diária entre os sistemas com e sem árvores foi muito maior no verão do que no inverno.

Em geral, as diferenças na temperatura do ar entre as áreas com lavoura em pleno sol e em associação com eucalipto foram similares às observadas quando se comparou pastagem em pleno sol e em associação com o componente arbóreo. Em avaliações realizadas na URT de 2015 a 2018, constatou-se que as temperaturas nas horas mais quentes do dia foram inferiores no centro do entre renque em relação à lavoura em pleno sol (Figuras 25, 26, 27 e 28). Em algumas avaliações, como, por exemplo, junho e agosto de 2015, a temperatura do ar no início da tarde foi cerca de 3°C superior em pleno sol em relação ao sistema integrado com o eucalipto. No entanto, das 10 às 15 h, em geral, as temperaturas em pleno sol foram de 0,5 a 1,5°C superiores às verificadas em sub-bosque, em todos os meses do ano.

Na região Sul do Brasil, do ponto de vista da produção de grãos, é interessante a redução das temperaturas máximas, sobretudo nos meses de dezembro e janeiro. Essa redução de picos de temperatura é relevante para reduzir o

estresse por calor, a respiração e a evapotranspiração das plantas, sendo favorável à expressão de altas produtividades de grãos. De outro modo, a redução da temperatura durante o dia nos meses de outono e inverno podem provocar reduções no crescimento e desempenho produtivo do milho segunda safra, por exemplo.

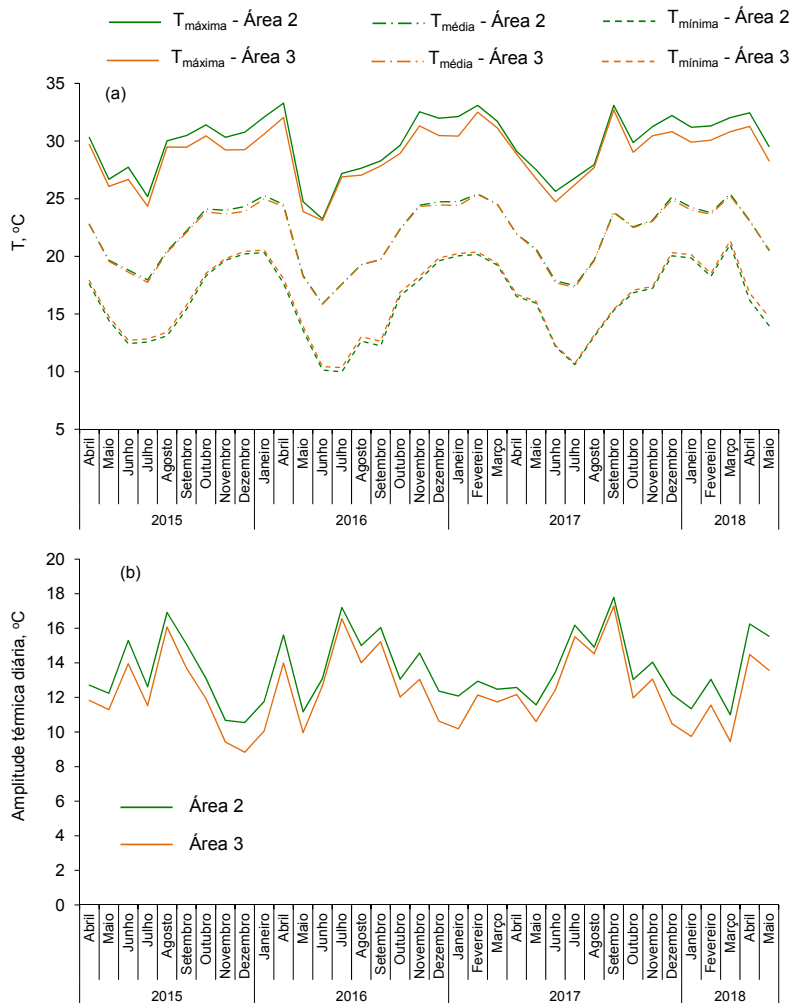


Figura 24. Valores médios mensais das temperaturas máximas ($T_{\text{máxima}}$), médias ($T_{\text{média}}$) e mínimas ($T_{\text{mínima}}$) diárias (a), e da amplitude térmica diária ($T_{\text{máxima}} - T_{\text{mínima}}$), (b) nos sistemas pastagem a pleno sol (área 2) e pastagem integrada a renques de eucalipto grandis (área 3). Londrina, PR.

No período noturno, as temperaturas foram ligeiramente superiores em sub-bosque do que na ausência do componente arbóreo, em todos os meses do ano (Figuras 25, 26, 27 e 28). Enfatiza-se, contudo, que essa diferença foi pequena, geralmente não ultrapassando 0,2°C. Em regiões que ocorrem geadas, em algumas situações é interessante o aumento da temperatura noturna, reduzindo os danos pelo frio. Como exemplo, cita-se a ocorrência de geadas no trigo no estágio de pleno florescimento. Na URT, percebeu-se atenuação expressiva nos danos de geadas no trigo em julho de 2013 (Franchini et al., 2018).

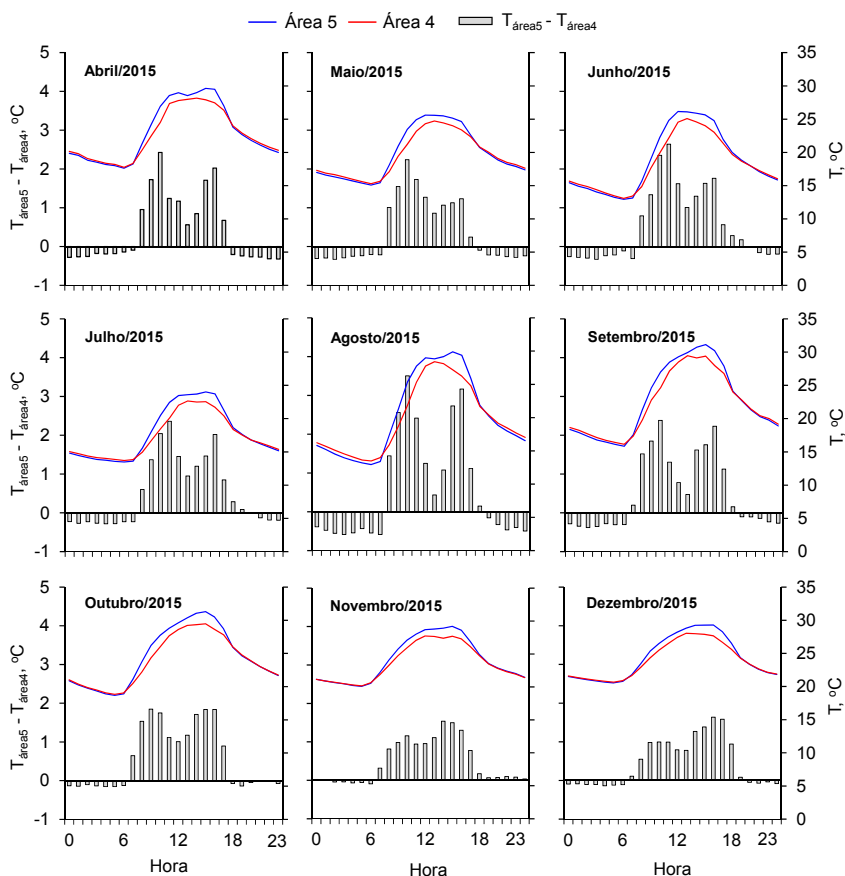


Figura 25. Médias horárias (T , °C) e diferenças de temperatura do ar ($T_{\text{área5}} - T_{\text{área4}}$) entre os sistemas lavoura a pleno sol (área 5) e lavoura integrada a renques de eucalipto grandis (área 4), nos meses de abril a dezembro de 2015. Londrina, PR.

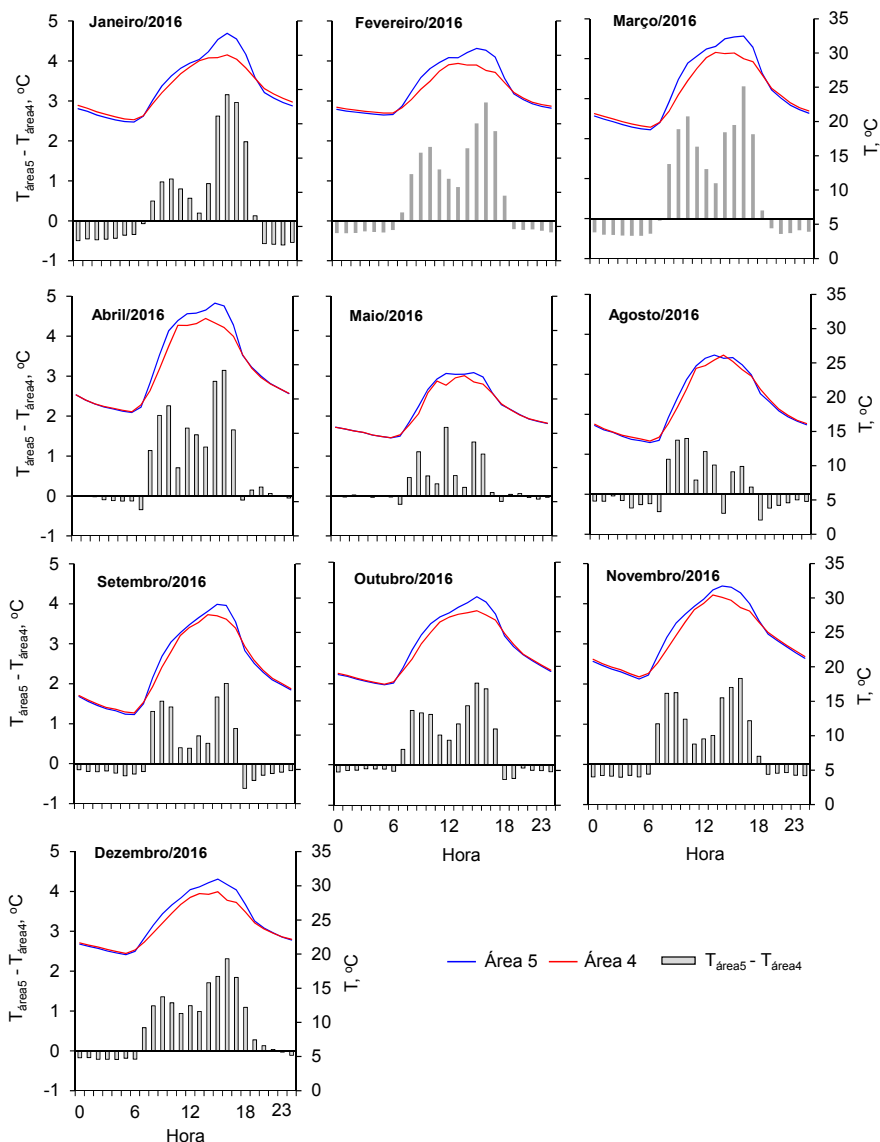


Figura 26. Médias horárias (T , °C) e diferenças de temperatura do ar ($T_{\text{área5}} - T_{\text{área4}}$) entre os sistemas lavoura a pleno sol (área 5) e lavoura integrada a renques de eucalipto grandis (área 4), nos meses de janeiro a dezembro de 2016 (exceto junho e julho). Londrina, PR.

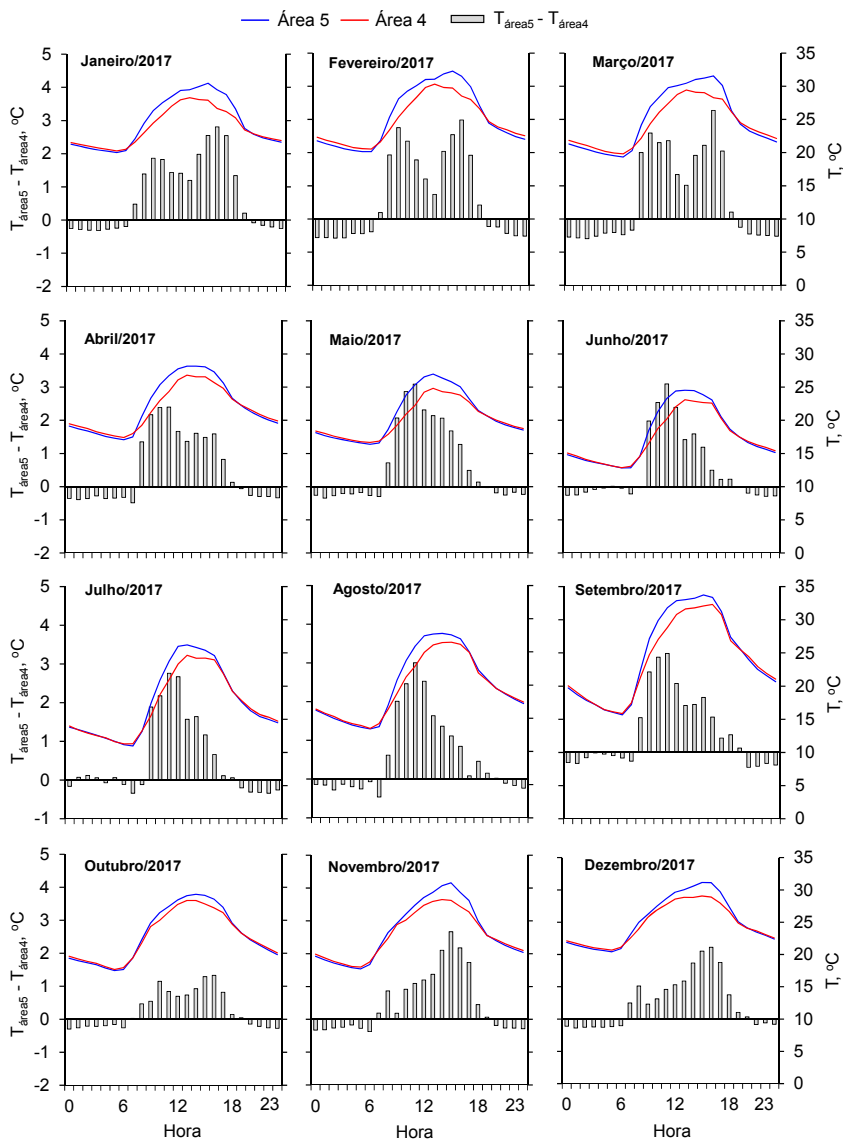


Figura 27. Médias horárias (T , °C) e diferenças de temperatura do ar ($T_{\text{área5}} - T_{\text{área4}}$) entre os sistemas lavoura a pleno sol (área 5) e lavoura integrada a renques de eucalipto grandis (área 4), nos meses de janeiro a dezembro de 2017. Londrina, PR.

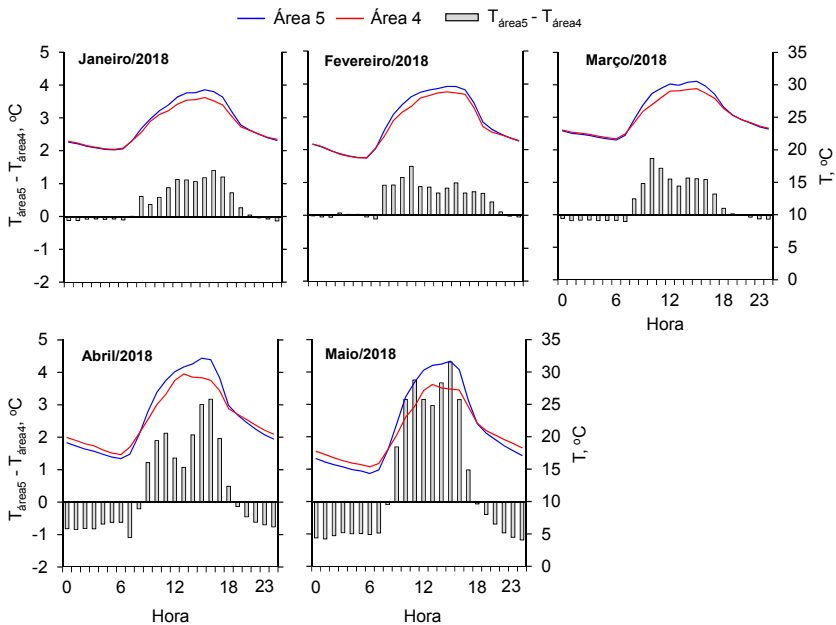


Figura 28. Médias horárias (T , °C) e diferenças de temperatura do ar ($T_{\text{área5}} - T_{\text{área4}}$) entre os sistemas lavoura a pleno sol (área 5) e lavoura integrada a renques de eucalipto grandis (área 4), nos meses de janeiro a maio de 2018. Londrina, PR.

Constata-se que, de fato, as temperaturas máximas do ar foram sempre inferiores na lavoura associada com eucalipto em relação à lavoura em pleno sol, assim como observado na comparação entre a pastagem em pleno sol (Figura 29A) e em associação com o eucalipto (Figura 24A). Adicionalmente, as diferenças absolutas dessa variação foram superiores nos meses mais quentes do ano, especialmente dezembro e janeiro. Em contrapartida, em todos os meses, as temperaturas mínimas tenderam a ser ligeiramente superiores na lavoura associada com o eucalipto, sendo essa diferença também mais intensa nos meses de verão. No cálculo da temperatura média do ar, os maiores valores de temperatura mínima compensaram grande parte das menores temperaturas máximas na lavoura associada com eucalipto, por isso, a temperatura mensal média foi muito similar entre a lavoura em pleno sol ou com renques de eucalipto (Figura 29A). A amplitude térmica diária foi expressivamente superior na lavoura em pleno sol (Figura 29B), uma vez que nessa situação há maior aquecimento durante o dia e maior resfriamento à noite. A diferença de amplitude térmica diária entre os sistemas com e sem árvores foi muito maior no verão do que no inverno.

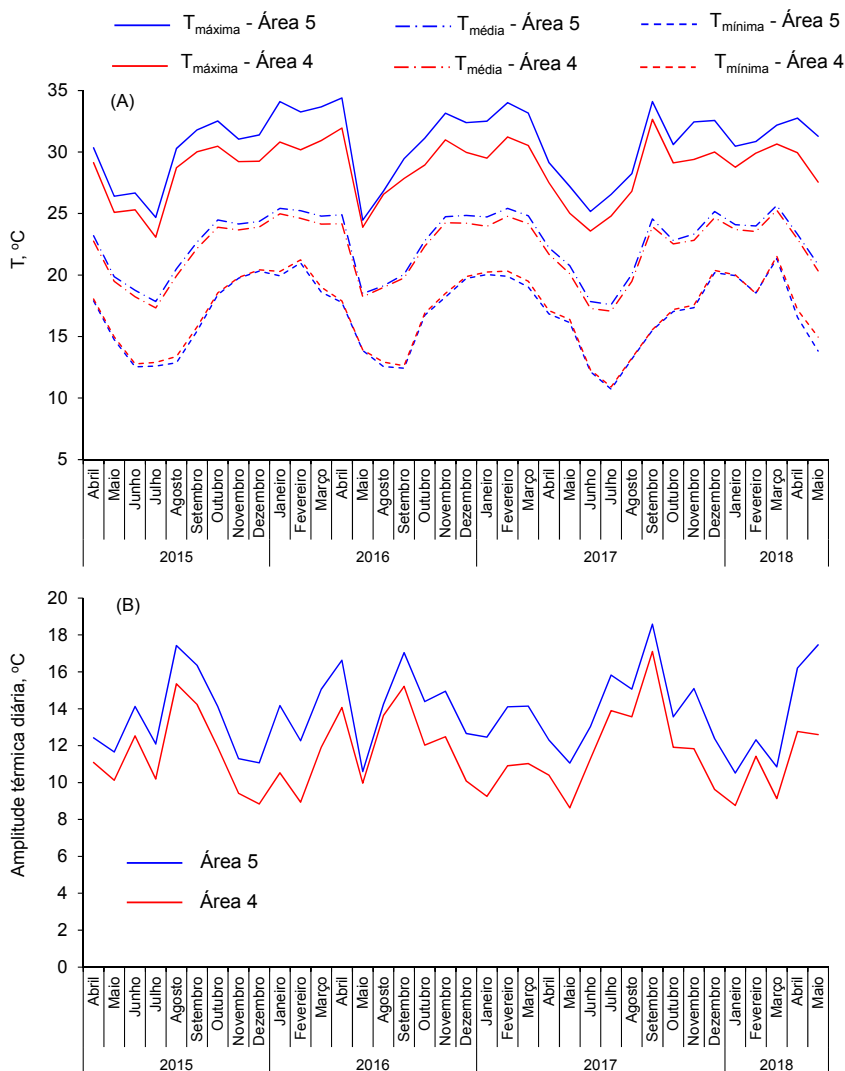


Figura 29. Valores médios mensais das temperaturas máximas ($T_{máxima}$), médias ($T_{média}$) e mínimas ($T_{mínima}$) diárias (a), e da amplitude térmica diária ($T_{máxima} - T_{mínima}$), em condição de lavoura a pleno sol (área 5) ou integrada a renques de eucalipto grandis (área 4). Londrina, PR.

Umidade absoluta

A umidade absoluta (UA) é a quantidade de vapor de água existente na atmosfera em um dado momento. Entre os meses de abril e agosto de 2015 e 2016, a UA variou pouco entre a pastagem em pleno sol e arborizada, tanto no período noturno quanto no diurno (Figuras 30 e 31). No entanto, nos demais meses avaliados, em geral, a UA foi superior na pastagem associada com eucalipto em relação à pastagem em pleno sol (Figuras 30, 31, 32 e 33). As maiores diferenças ocorreram nas horas mais quentes do dia e entre os meses de setembro e fevereiro, época em que há maior precipitação pluvial. Nos meses de novembro de 2015 e 2016 e março de 2017, a UA na pastagem em pleno sol chegou a ser 2 g m^{-3} menor do que a pastagem associada com eucalipto. Presume-se, dessa forma, que as árvores atrasam a perda de umidade para a atmosfera após ocorrerem as precipitações, em função da redução de picos de temperatura e da velocidade do vento.

Diferentemente do observado na área de pastagem, na área de lavoura as diferenças de UA entre a presença e ausência de eucalipto foram pouco consistentes durante os quatro anos de avaliação, tanto no período diurno quanto no noturno (Figuras 34, 35, 36 e 37). Por exemplo, nos cinco meses avaliados de 2018, a UA foi superior na lavoura em pleno sol em relação à área associada com eucalipto, especialmente nas horas mais quentes do dia (Figura 37). Por outro lado, nos meses de novembro e dezembro de 2015 ocorreu o inverso (Figura 34). Nesse sentido, é possível que as culturas e estádios de desenvolvimento dessas influenciem as diferenças de UA entre os ambientes arborizados e não arborizados.

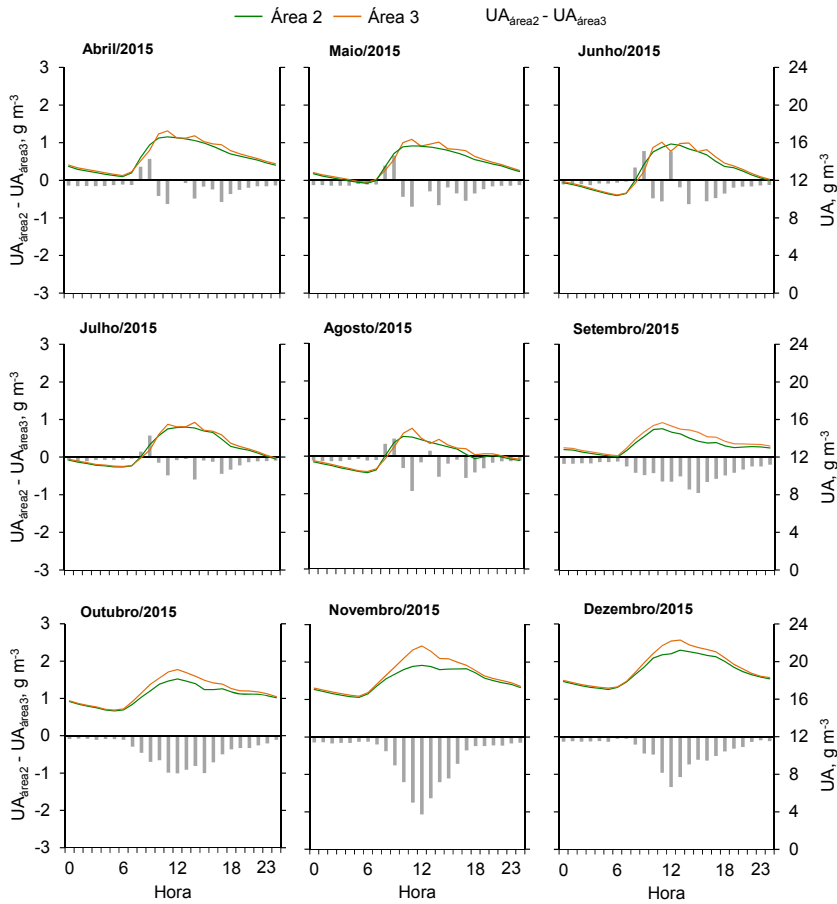


Figura 30. Médias horárias ($UA, g m^{-3}$) e diferenças de umidade absoluta do ar ($UA_{\text{área2}} - UA_{\text{área3}}$) entre os sistemas pastagem a pleno sol (área 2) e pastagem integrada a renques de eucalipto grandis (área 3), nos meses de abril a dezembro de 2015. Londrina, PR.

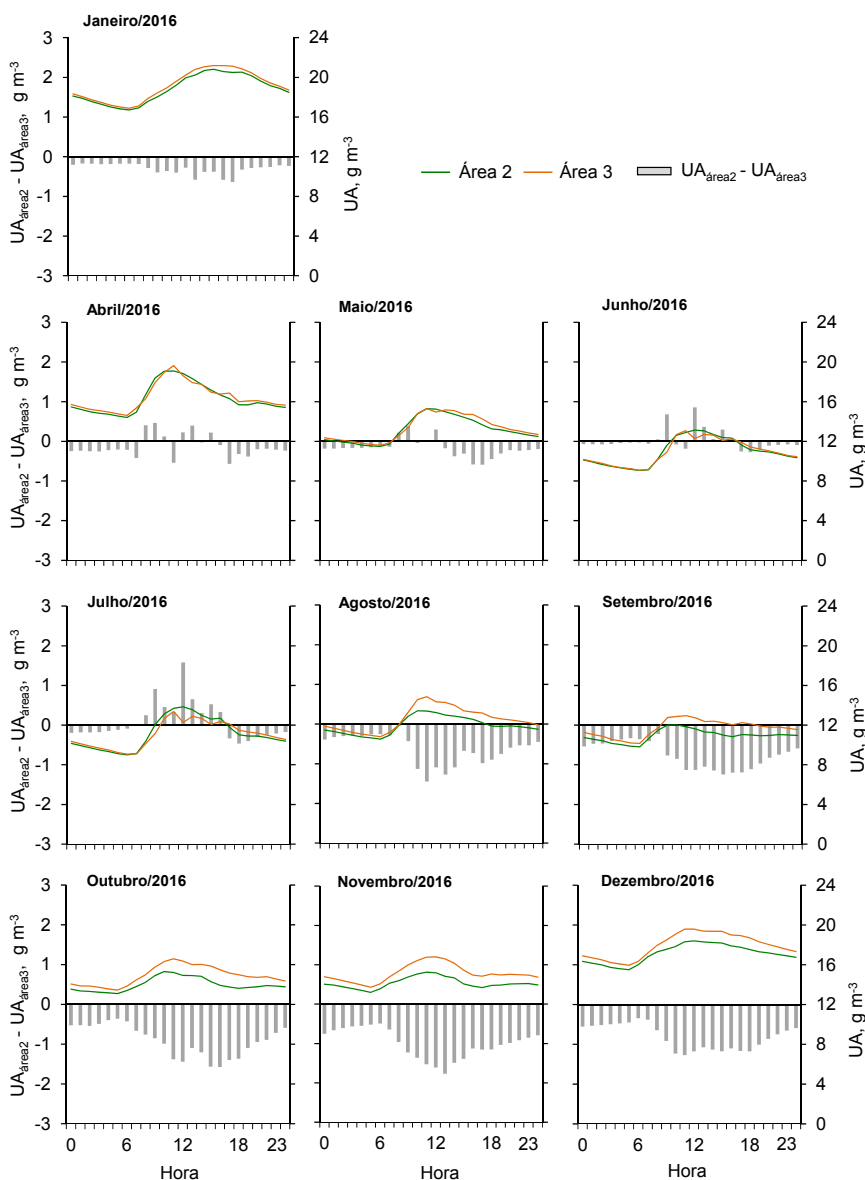


Figura 31. Médias horárias ($UA, \text{g m}^{-3}$) e diferenças de umidade absoluta do ar ($UA_{\text{área2}} - UA_{\text{área3}}$) entre os sistemas pastagem a pleno sol (área 2) e pastagem integrada a renques de eucalipto grandis (área 3), nos meses de janeiro a dezembro de 2016 (exceto fevereiro e março). Londrina, PR.

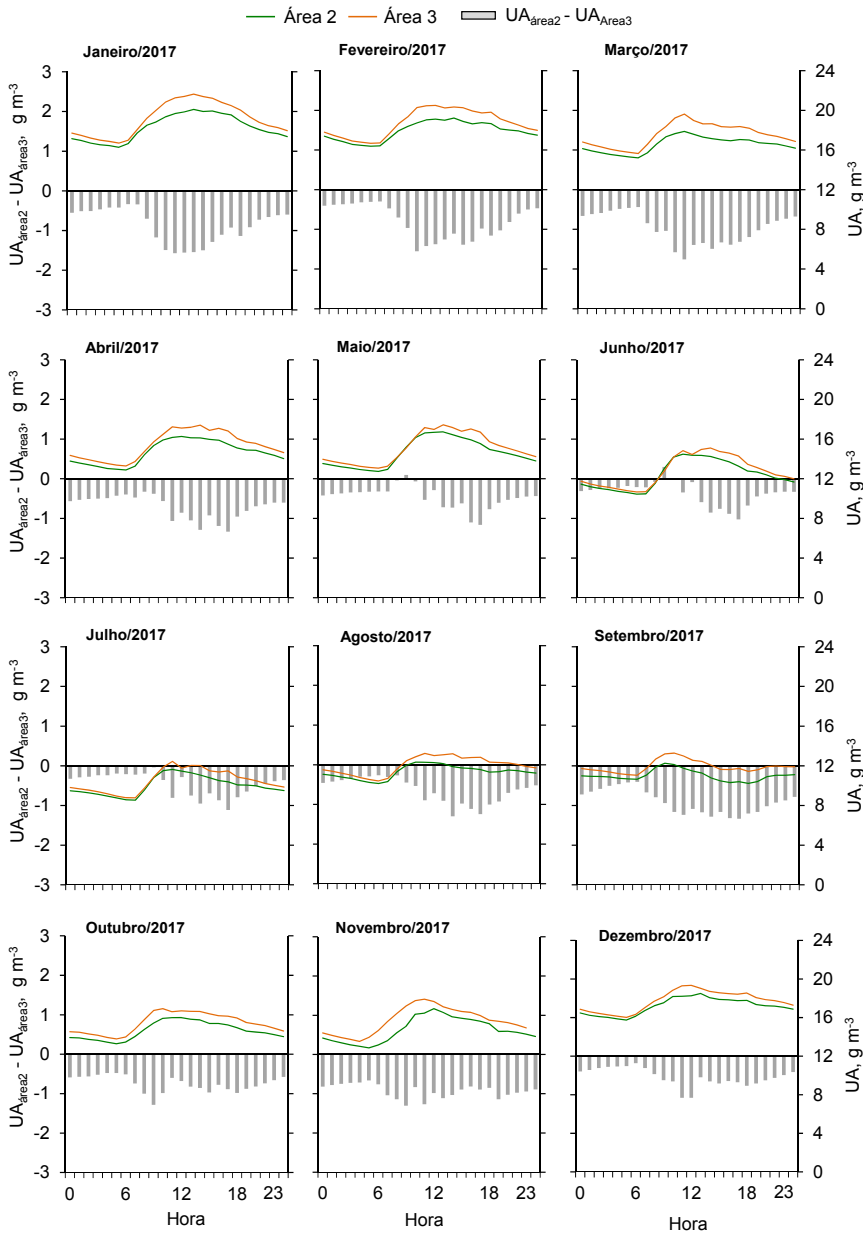


Figura 32. Médias horárias (UA , g m^{-3}) e diferenças de umidade absoluta do ar ($UA_{\text{Área2}} - UA_{\text{Área3}}$) entre os sistemas pastagem a pleno sol (área 2) e pastagem integrada a renques de eucalipto grandis (área 3), nos meses de janeiro a dezembro de 2017. Londrina, PR.

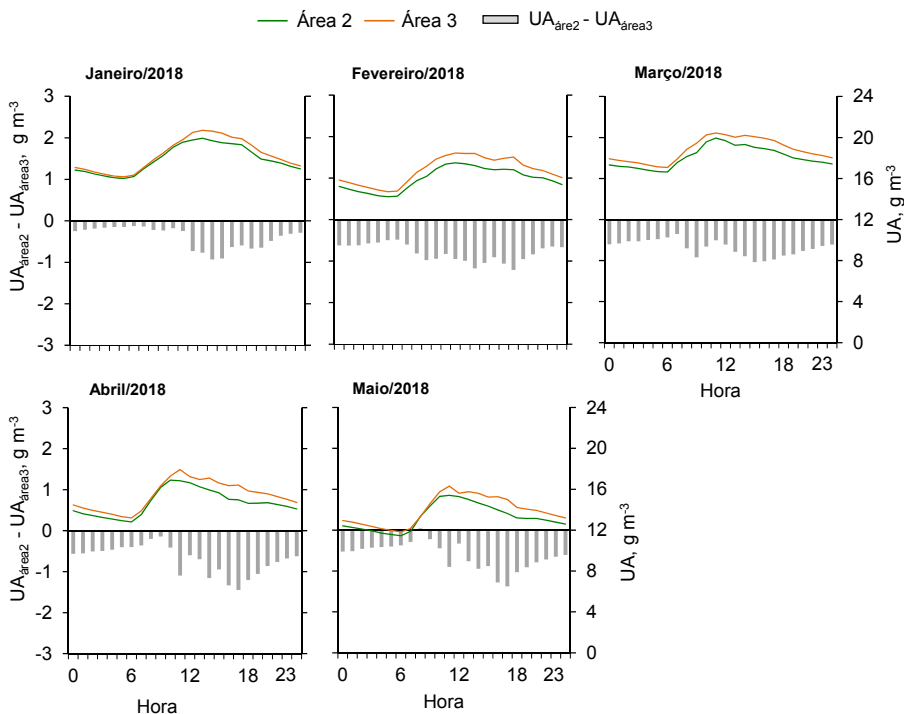


Figura 33. Médias horárias ($UA, g\ m^{-3}$) e diferenças de umidade absoluta do ar ($UA_{\text{área2}} - UA_{\text{área3}}$) entre os sistemas pastagem a pleno sol (área 2) e pastagem integrada a renques de eucalipto grandis (área 3), nos meses de janeiro a maio de 2018. Londrina, PR.

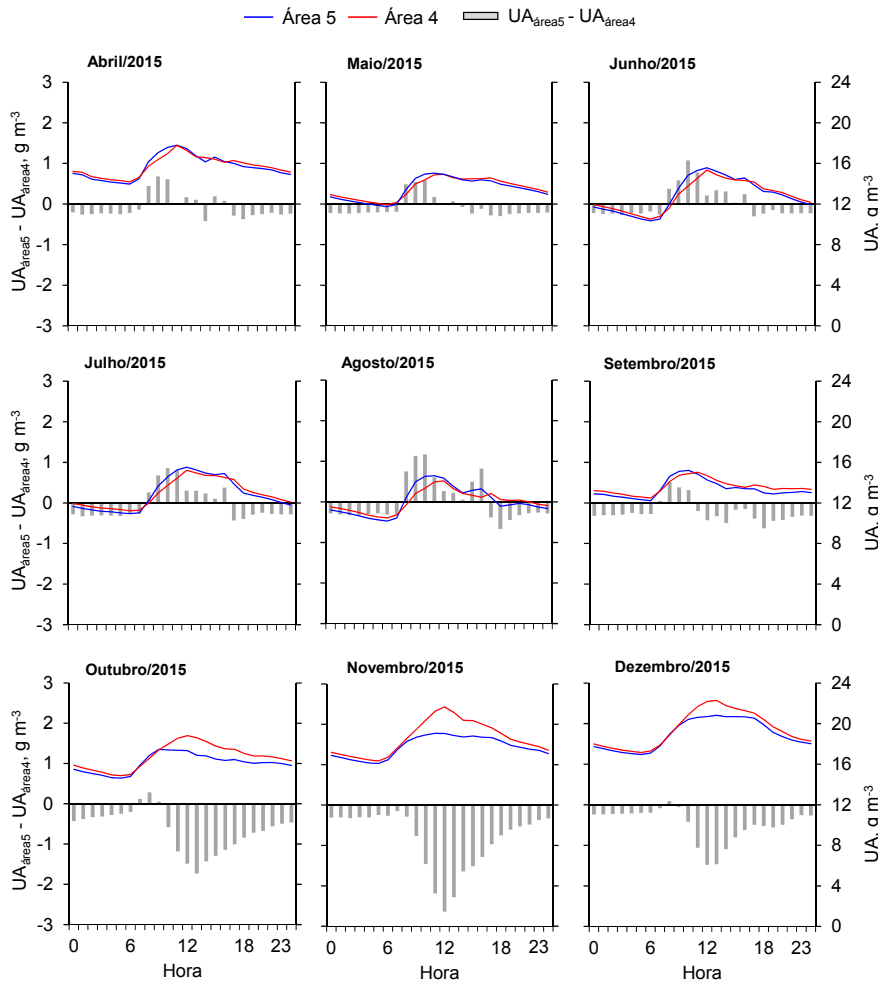


Figura 34. Médias horárias ($UA, \text{g m}^{-3}$) e diferenças de umidade absoluta do ar ($UA_{\text{área5}} - UA_{\text{área4}}$) entre os sistemas lavoura a pleno sol (área 5) e lavoura integrada a renques de eucalipto grandis (área 4), nos meses de abril a dezembro de 2015. Londrina, PR.

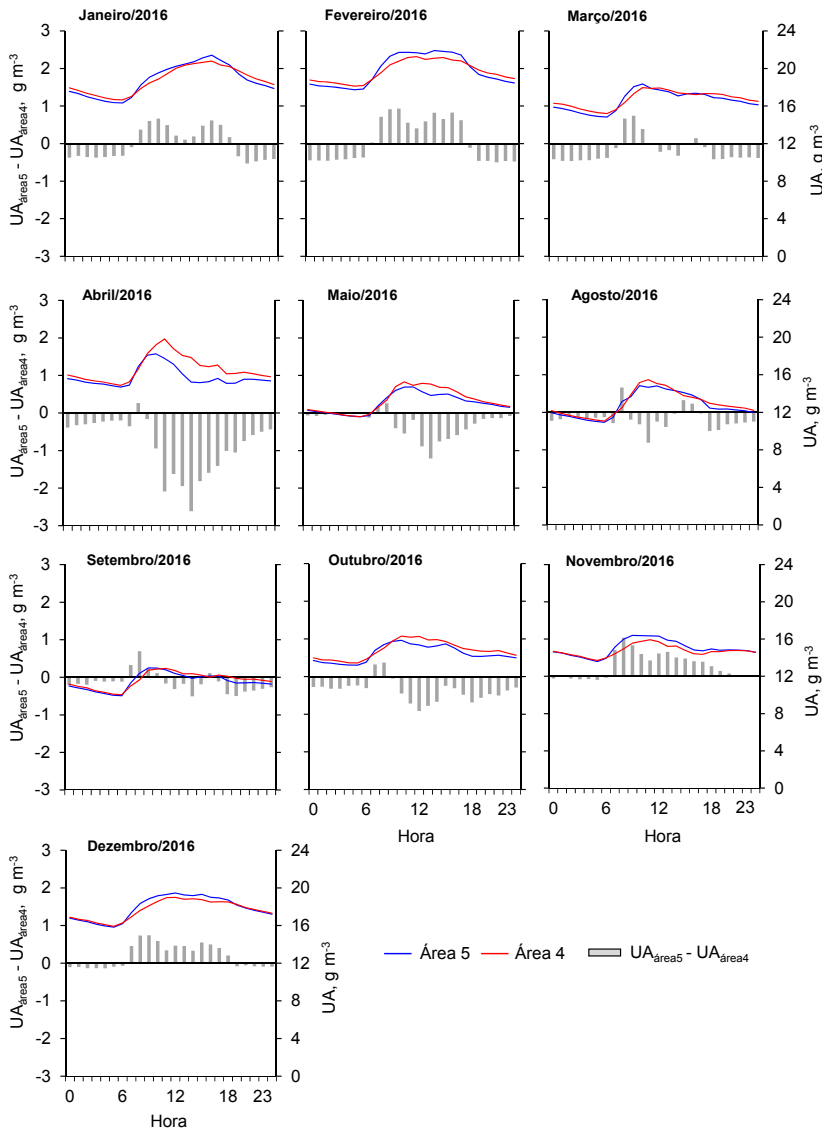


Figura 35. Médias horárias ($UA, \text{g m}^{-3}$) e diferenças de umidade absoluta do ar ($UA_{\text{Área5}} - UA_{\text{Área4}}$) entre os sistemas lavoura a pleno sol (área 5) e lavoura integrada a renques de eucalipto grandis (área 4), nos meses de janeiro a dezembro de 2016 (exceto junho e julho). Londrina, PR.

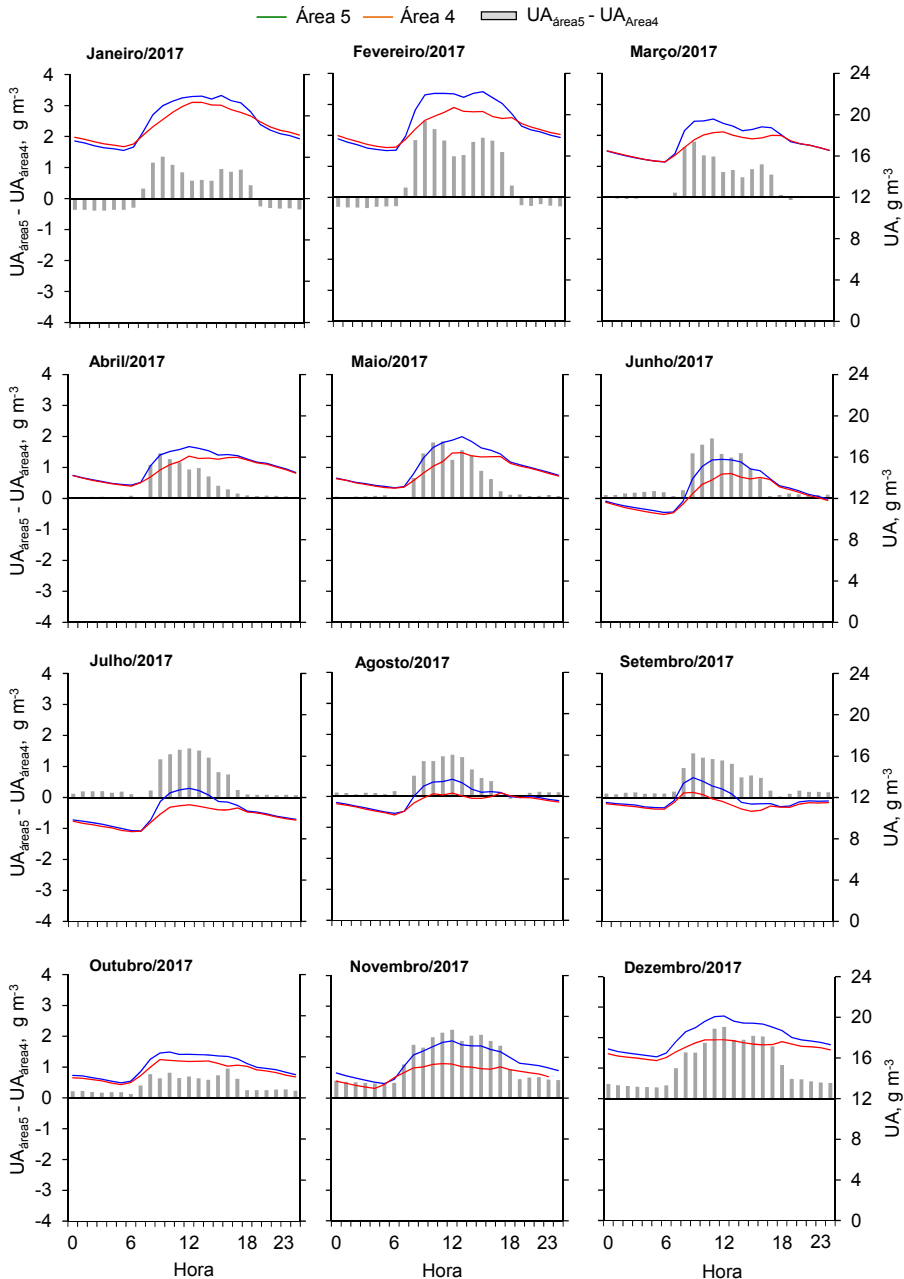


Figura 36. Médias horárias ($UA, \text{g m}^{-3}$) e diferenças de umidade absoluta do ar ($UA_{\text{área5}} - UA_{\text{área4}}$) entre os sistemas lavoura a pleno sol (área 5) e lavoura integrada a renques de eucalipto grandis (área 4), nos meses de janeiro a dezembro de 2017. Londrina, PR.

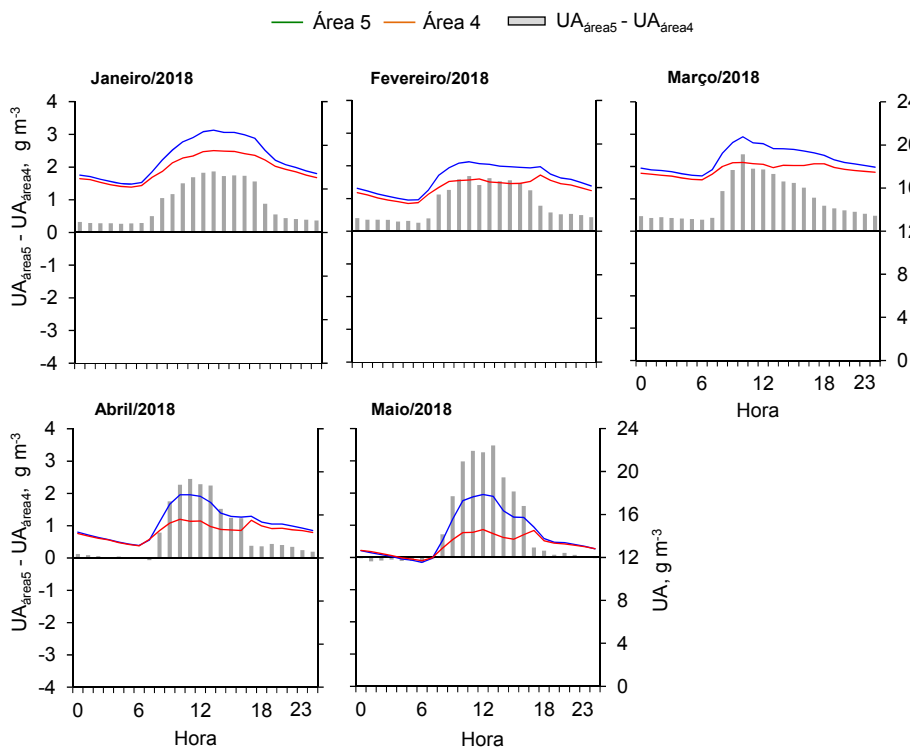


Figura 37. Médias horárias ($UA, g m^{-3}$) e diferenças de umidade absoluta do ar ($UA_{\text{área5}} - UA_{\text{área4}}$) entre os sistemas lavoura a pleno sol (área 5) e lavoura integrada a renques de eucalipto grandis (área 4), nos meses de janeiro a maio de 2018. Londrina, PR.

Umidade relativa

A umidade relativa do ar (UR) é a relação entre a umidade absoluta do ar e o seu ponto de saturação. Quanto maior a temperatura, maior a quantidade de vapor de água que o ar pode conter, e, conseqüentemente, maior é o ponto de saturação. A UR pode afetar vários processos agrônômicos, como, por exemplo, a incidência de doenças e a eficiência na aplicação de agrotóxicos. A UR é inversamente proporcional à temperatura do ar. Assim, constatou-se nos quatro anos de avaliação maior UR durante o dia na pastagem associada ao eucalipto, em relação à pastagem em pleno sol, em praticamente todos os meses do ano (Figuras 38, 39, 40 e 41). Em alguns meses, como novembro de 2015, agosto e novembro de 2016, janeiro de 2018 e fevereiro e maio de 2018, a UR chegou a ficar de 8% a 10% maior no ambiente arborizado em

relação à ausência de eucalipto nas horas mais quentes do dia. Isso pode ter implicações importantes na fisiologia das forrageiras, como, por exemplo, alongamento do período de abertura estomática durante o dia.

A UR durante a noite variou pouco entre a pastagem em pleno sol e a arborizada. Enfatiza-se que, em alguns meses, a UR noturna foi superior na pastagem sem a presença de árvores e, em outros, ocorreu o inverso. No entanto, a magnitude dessas diferenças foram, em geral, inferiores a 4%. Nesse contexto, a avaliação durante quatro anos demonstrou de forma robusta que o componente arbóreo tem forte influência no aumento da UR durante o dia, mas a noite esse efeito é pequeno e variável, dependendo de outras condições ambientais.

Outro ponto que merece destaque é que o efeito das árvores sobre o aumento da UR do ar nas horas mais quentes do dia ocorreu tanto em meses cuja UR foi alta (>60%) quanto em meses que a UR foi (<60%), independentemente das estações do ano. Dessa forma, verificou-se a grande estabilidade de efeito das árvores em propiciar maior UR nas horas mais quentes do dia na pastagem associada com árvores.

Assim como ocorreu na pastagem, averiguou-se nos quatro anos de avaliação maior UR durante o dia na lavoura associada ao eucalipto, em relação à lavoura em pleno sol, em praticamente todos os meses (Figuras 42, 43, 44 e 45). Em alguns meses, como novembro de 2015 e abril de 2016, a UR chegou a ficar 10% maior no ambiente arborizado em relação à ausência de eucalipto, nas horas mais quentes do dia. Isso pode ter implicações importantes na fisiologia das culturas graníferas, como, por exemplo, alongar o período de abertura estomática durante o dia, além de influenciar a eficiência de produtos fitossanitários aplicados via pulverização, uma vez que UR inferior a 60% aumenta a evaporação das gotas pulverizadas, reduzindo expressivamente a eficiência agrônômica desses produtos.

A UR durante a noite variou pouco entre a lavoura em pleno sol e a arborizada. Em alguns meses, a UR noturna foi superior na lavoura sem a presença de árvores e, em outros, ocorreu o inverso. No entanto, a magnitude dessas diferenças foram, em geral, inferiores a 4%, à exceção de abril e maio de 2018, em que a UR noturna chegou a ser 6% maior no ambiente sem árvores. Dessa maneira, a avaliação durante quatro anos demonstrou de forma con-

sistente que o componente arbóreo tem forte influência no aumento da UR durante o dia, mas a noite esse efeito é pequeno e variável, dependendo de outras condições ambientais, tal qual observado na pastagem.

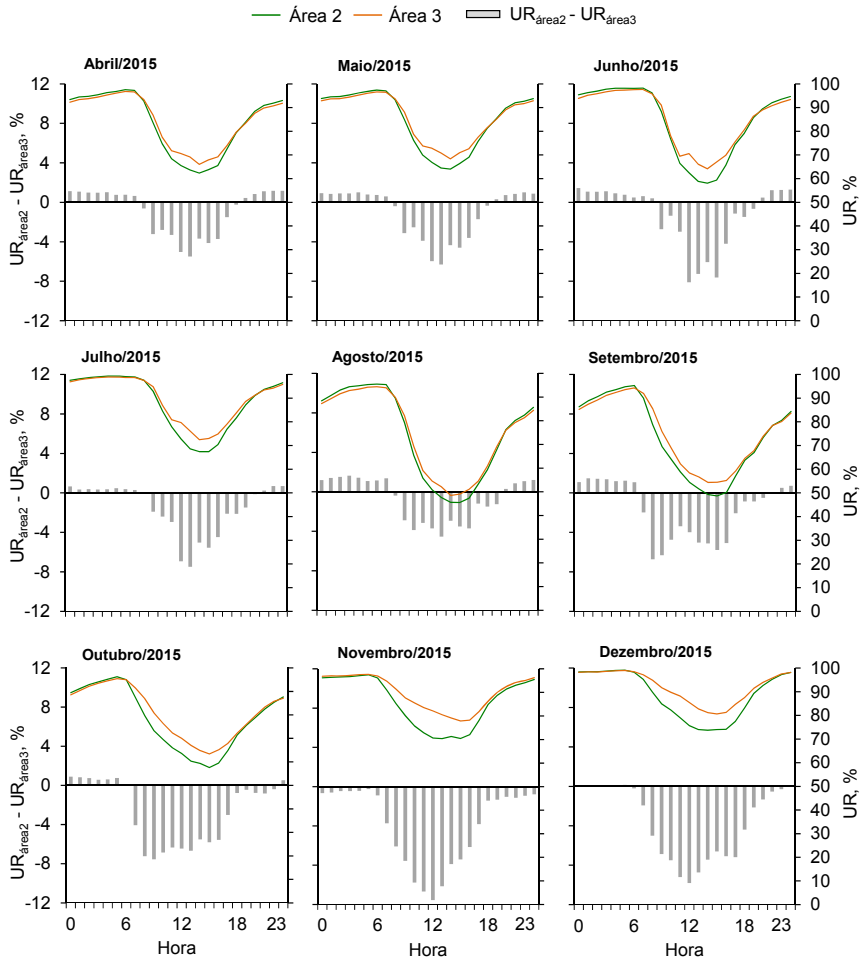


Figura 38. Médias horárias (UR, %) e diferenças de umidade relativa do ar ($UR_{\text{área2}} - UR_{\text{área3}}$) entre os sistemas pastagem a pleno sol (área 2) e pastagem integrada a renques de eucalipto grandis (área 3), nos meses de abril a dezembro de 2015. Londrina, PR.

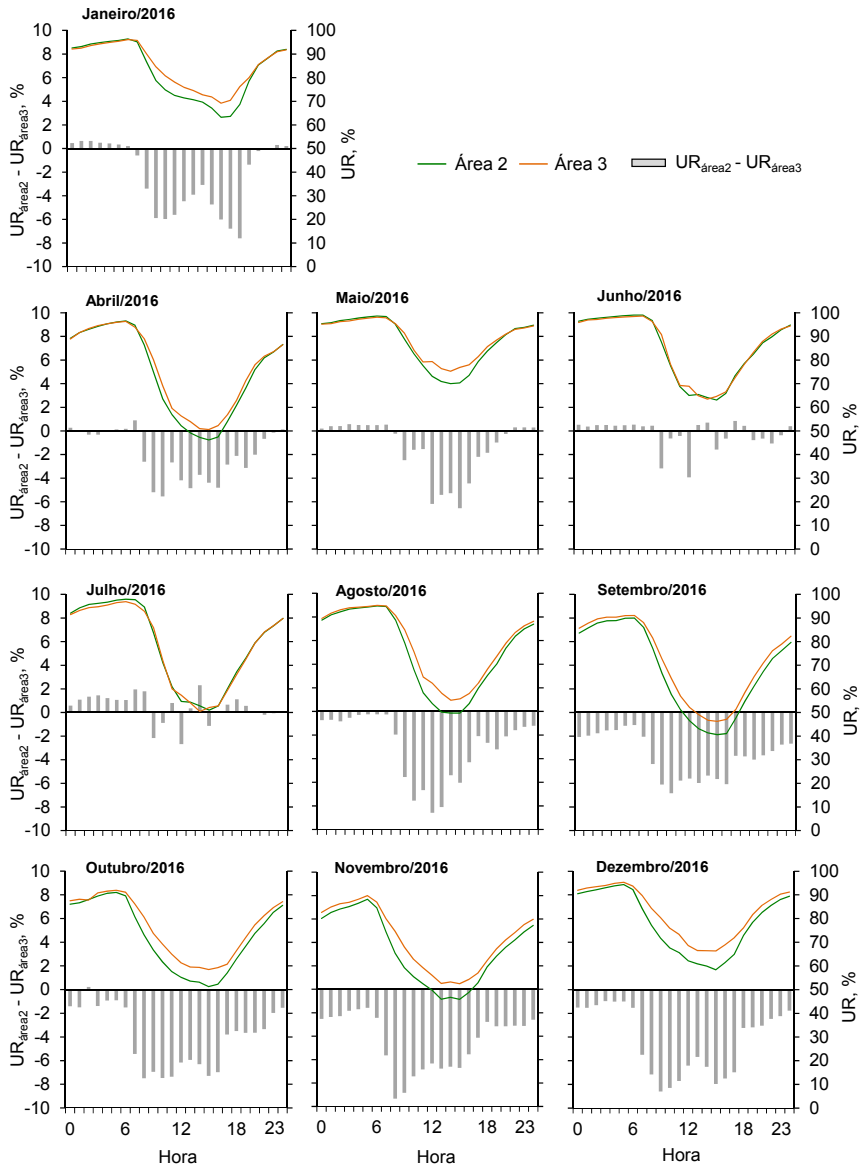


Figura 39. Médias horárias (UR, %) e diferenças de umidade relativa do ar ($UR_{\text{área2}} - UR_{\text{área3}}$) entre os sistemas pastagem a pleno sol (área 2) e pastagem integrada a renques de eucalipto grandis (área 3), nos meses de janeiro a dezembro de 2016 (exceto fevereiro e março). Londrina, PR.

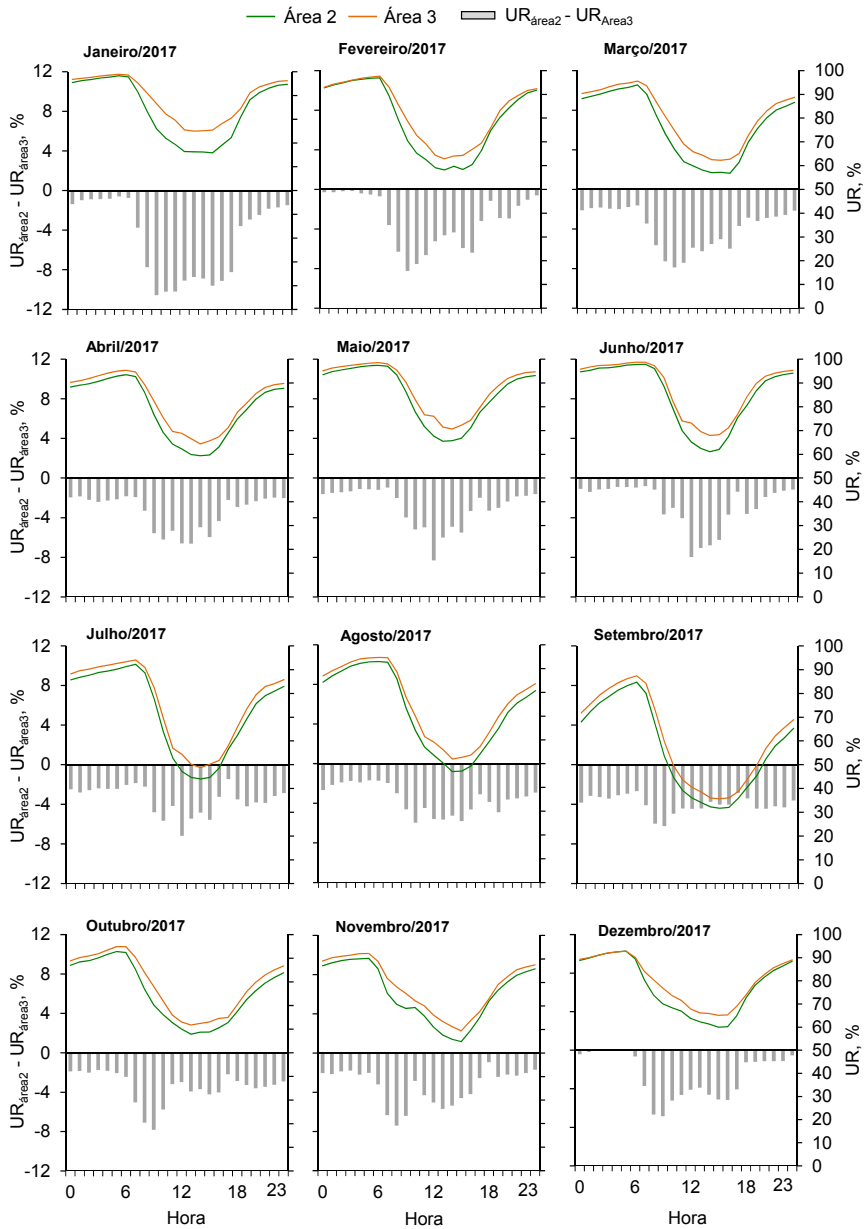


Figura 40. Médias horárias (UR, %) e diferenças de umidade relativa do ar ($UR_{\text{Área2}} - UR_{\text{Área3}}$) entre os sistemas pastagem a pleno sol (área 2) e pastagem integrada a renques de eucalipto grandis (área 3), nos meses de janeiro a dezembro de 2017. Londrina, PR.

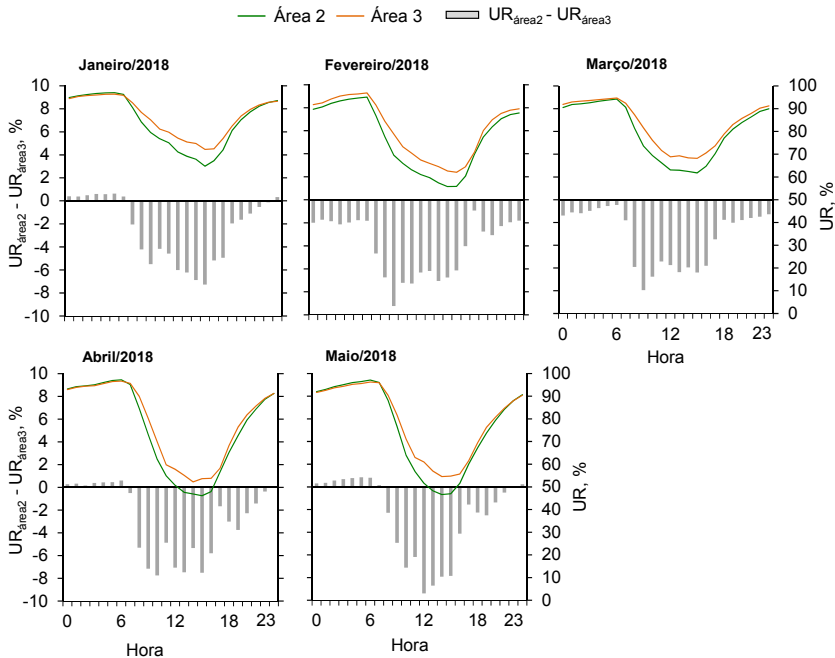


Figura 41. Médias horárias (UR, %) e diferenças de umidade relativa do ar ($UR_{\text{área2}} - UR_{\text{área3}}$) entre os sistemas pastagem a pleno sol (área 2) e pastagem integrada a renques de eucalipto grandis (área 3), nos meses de janeiro a maio de 2018. Londrina, PR.

Observou-se novamente que o efeito das árvores sobre o aumento da UR do ar nas horas mais quentes do dia ocorreu tanto em meses cuja UR foi alta (>60%) quanto em meses que a UR foi baixa (<60%), independentemente das estações do ano. Isso demonstra novamente a grande estabilidade de efeito das árvores em propiciar maior UR nas horas mais quentes do dia.

Nos quatro anos de avaliação, o efeito das árvores sobre a redução da temperatura nas horas mais quentes do dia foi consistente em praticamente todos os meses do ano, ao contrário do efeito das árvores sobre a UA, que foi variável no tempo. Portanto, infere-se que o componente arbóreo aumenta a UR nas horas mais quentes do dia em função, principalmente da redução da temperatura do ar e não em razão do aumento da UA.

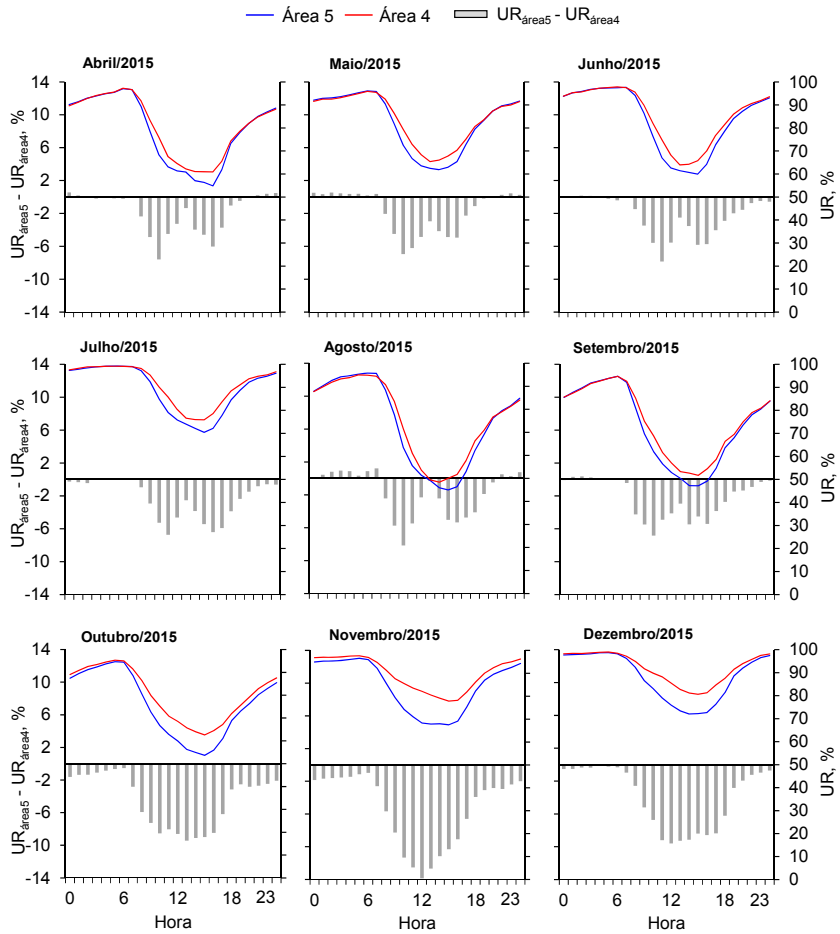


Figura 42. Médias horárias (UR, %) e diferenças de umidade relativa do ar ($UR_{\text{área5}} - UR_{\text{área4}}$) entre os sistemas lavoura a pleno sol (área 5) e lavoura integrada a renques de eucalipto grandis (área 4), nos meses de abril a dezembro de 2015. Londrina, PR.

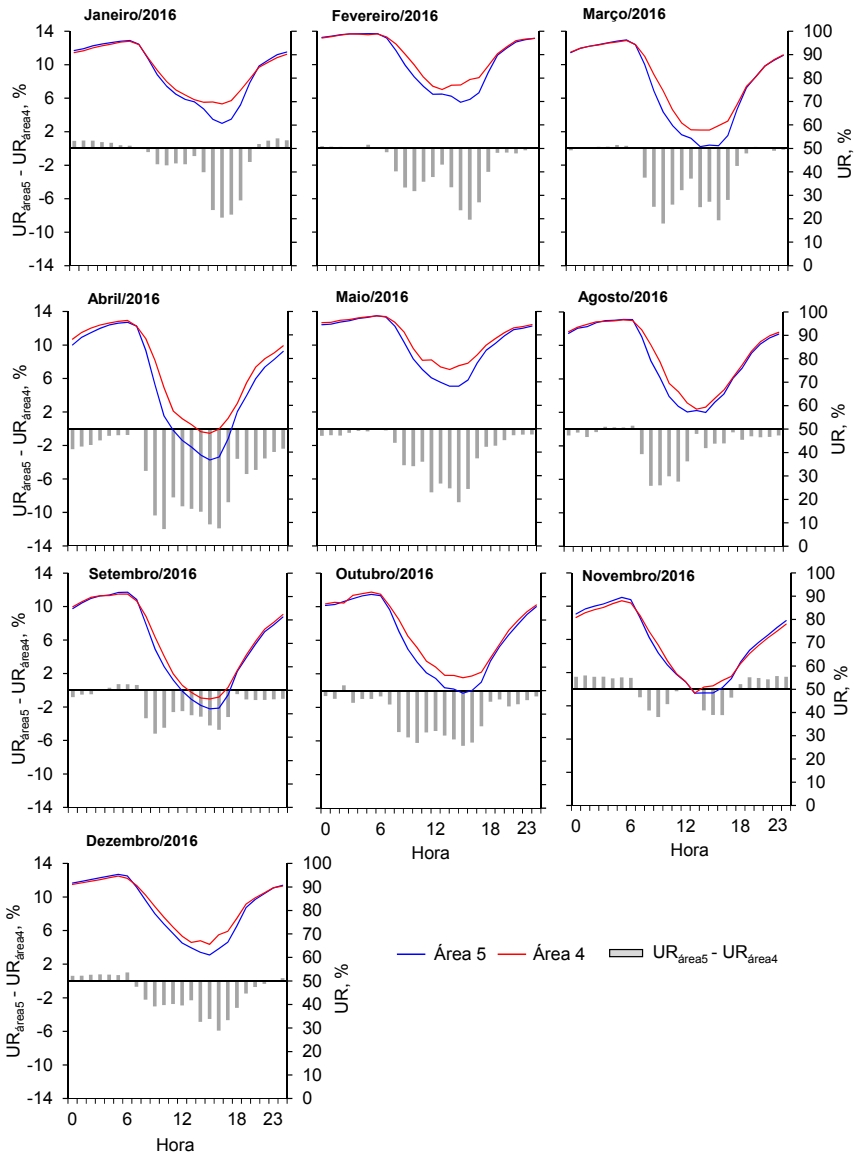


Figura 43. Médias horárias (UR, %) e diferenças de umidade relativa do ar ($UR_{\text{área5}} - UR_{\text{área4}}$) entre os sistemas lavoura a pleno sol (área 5) e lavoura integrada a renques de eucalipto grandis (área 4), nos meses de janeiro a dezembro de 2016 (exceto junho e julho). Londrina, PR.

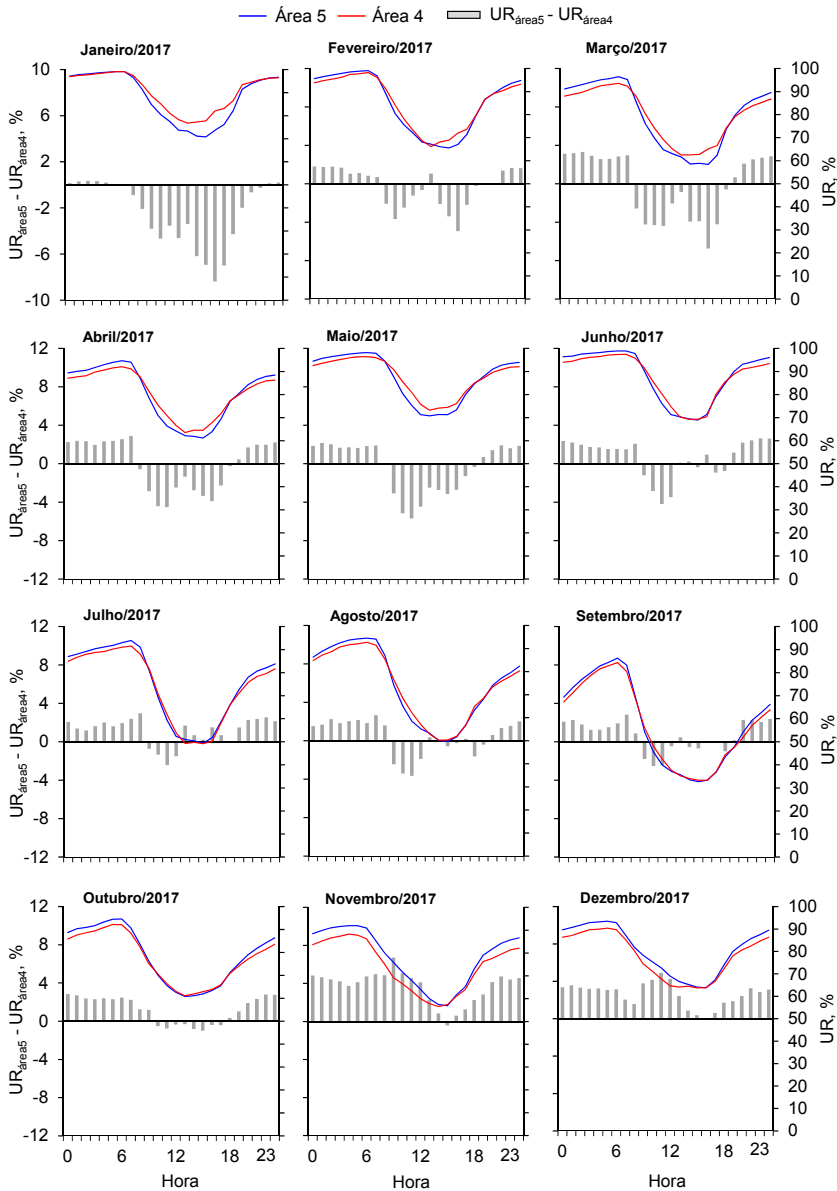


Figura 44. Médias horárias (UR, %) e diferenças de umidade relativa do ar ($UR_{\text{área5}} - UR_{\text{área4}}$) entre os sistemas lavoura a pleno sol (área 5) e lavoura integrada a renques de eucalipto grandis (área 4), nos meses de janeiro a dezembro de 2017. Londrina, PR.

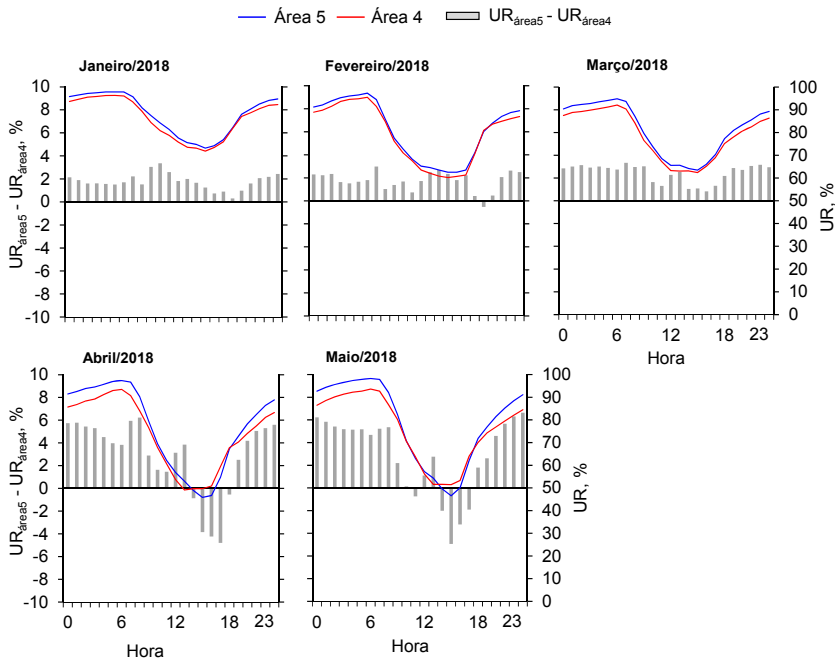


Figura 45. Médias horárias (UR , %) e diferenças de umidade relativa do ar ($UR_{\text{área5}} - UR_{\text{área4}}$) entre os sistemas lavoura a pleno sol (área 5) e lavoura integrada a renques de eucalipto grandis (área 4), nos meses de janeiro a maio de 2018. Londrina, PR.

Considerações finais

A presença de renques de eucalipto espaçados em 25 m provocou redução expressiva na radiação solar global e fotossinteticamente ativa disponível às culturas de grãos e forrageiras em sub-bosque, em relação ao ambiente sem árvores. É provável que a competição por radiação solar imposta pelas árvores seja um fator importante para explicar as reduções significativas de produtividade de grãos e de forragem decorrentes da presença do componente arbóreo, verificadas em vários trabalhos publicados na literatura. Outro resultado importante é que a redução da radiação fotossinteticamente ativa provocada pelas árvores é proporcionalmente maior do que a redução da radiação solar global.

Quanto à temperatura, verificou-se expressivo efeito das árvores em reduzir as temperaturas máximas nas horas mais quentes do dia, bem como ligeiro aumento de temperatura nas horas mais frias, o que redundou em redução da amplitude térmica diária, independentemente da estação do ano. Em função desses efeitos sobre a temperatura, a umidade relativa do ar tendeu a ser maior nos entre renques nos horários de maior calor, comparativamente à ausência do componente arbóreo. Esses efeitos das árvores têm forte influência em melhorar o bem estar animal, bem como pode influenciar processos fisiológicos importantes nas plantas, como fotossíntese e respiração. Do ponto de vista da produção de grãos e forragem em integração com a floresta, o componente arbóreo tem impacto positivo sobre a temperatura e umidade relativa do ar. No entanto, tem forte impacto negativo sobre a disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa no sub-bosque, sendo este, o fator mais relevante na redução da produção de grãos e forragem em relação a sistemas não integrados.

Referências

- AGGARWAL, A.; UPADHYAY, R. **Heat stress and animal productivity**. London: Springer, 2013. 183 p.
- BALBINO, L. C.; CORDEIRO, L. A. M.; PORFIRIO-DA-SILVA, V.; MORAES, A. de; MARTINEZ, G. B.; ALVARENGA, R. C.; KICHEL, A. N.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. dos; 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.
- BALBINOT JUNIOR, A. A.; MORAES, A.; VEIGA, M.; PELISSARI, A.; DIECKOW, J. Integração lavoura-pecuária: intensificação de uso de áreas agrícolas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 1925-1933, 2009.
- BRANDLE, J. R.; HODGES, L.; ZHOU, X. H. Windbreaks in North American agricultural systems. **Agroforestry Systems**, v. 61, p. 65-78, 2004.
- BROOM, D. M.; GALINDO, F. A.; MURGUEITIO, E. Sustainable efficient livestock production with high biodiversity and good welfare for animals. **Proceedings of the Royal Society of London Biological Sciences**, v. 280, p. 2013-2025, 2013.
- DOMICIANO, L. F.; MOMBACH, M. A.; CARVALHO, P.; SILVA, M. N. F.; PEREIRA, D. H.; CABRAL, L. S.; PEDREIRA, B. C. Performance and behaviour of Nellore steers on integrated systems. **Animal Production Science**, v. 58, p. 920-929, 2016.
- ERISMANN, N. M.; MACHADO, E. C.; GODOY, I. J. Capacidade fotossintética de genótipos de amendoim em ambiente natural e controlado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 1099-1108, 2006.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H. **Produção de grãos, pastagem e madeira em sistema ILPF no norte do Paraná**. Londrina: Embrapa Soja, 2018. 43 p. (Embrapa Soja. Documentos, 407).

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Desempenho da soja em consequência de manejo de pastagem, época de dessecação e adubação nitrogenada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, p. 1131-1138, 2015.

FRANCHINI, J. C.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; SICHIERI, F. R.; DEBIASI, H.; CONTE, O. Yield of soybean, pasture and wood in integrated crop-livestock-forest system in Northwestern Paraná state, Brazil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 45, p. 999-1005, 2014.

FRANCHINI, J. C.; DEBIASI, H.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; TONON, B. C.; FARIAS, J. R. B.; OLIVEIRA, M. C. N.; TORRES, E. Evolution of crop yields in different tillage and growing systems over two decades in Southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.

GURGEL, E. M.; SERAPHIM, O. J.; SILVA, I. J. O. Método de avaliação bioclimática da qualidade da sombra de árvores visando ao conforto térmico animal. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 27, p. 20-34, 2012.

LINQUIST, J. L.; ARKEBAUER, T. J.; WALTERS, D. T.; CASSMAN, K. G.; DOBERMANN A. Maize radiation use efficiency under optimal growth conditions. **Agronomy Journal**, v. 97, p. 72-78, 2005.

MONTEIRO, J. E. B. A. Índice de favorabilidade de radiação solar para culturas anuais e perenes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 16., 2009, Belo Horizonte. **Mudanças climáticas, recursos hídricos e energia para uma agricultura sustentável**. Belo Horizonte: SBA: UFV: CNPMS, 2009. 1 CD-ROM.

REYNOLDS, P. E.; SIMPSON, J. A.; THEVATHASAN, N. V.; GORDON, A. M. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in Southern Ontario, Canada. **Ecological Engineering**, v. 29, p. 362-371, 2007.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; CUNHA, T. J. F.; OLIVEIRA, J. B. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2013. 353 p.

SINGH, A. K.; KUMAR, P.; SINGH, R.; RATHORE, N. Dynamics of tree-crop interface in relation to their influence on microclimatic changes - a review. **HortFlora Research Spectrum**, v. 1, p. 193-198, 2012.

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

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 888 p.

THORNTON, P. K.; VAN DE STEEG, J.; NOTENBAERT, A.; HERRERO, M. The impacts of climate change on livestock and livestock systems in developing countries: a review of what we know and what we need to know. **Agricultural Systems**, v. 101, p. 113-127, 2009.

UDAWATTA, R. P.; MOTAVALI, P. P.; JOSE, S.; NELSON, K. A. Temporal and spatial differences in crop yields of a mature silver maple alley cropping system. **Agronomy Journal**, v.106, p.407-415, 2014.

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, p. 403-416, 2019.

WERNER, F.; BALBINOT JUNIOR, A. A.; FRANCHINI, J. C.; FERREIRA, A. S.; SILVA, M. A. A. Agronomic performance of soybean cultivars in an agroforestry system. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 47, n. 3, p. 279-285, 2017.

WREGE, M. S.; STEINMETZ, S.; REISSER JÚNIOR, C.; ALMEIDA, I. R. de. (Ed.). **Atlas climático da Região Sul do Brasil**: Estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; Colombo: Embrapa Florestas, 2011. 333 p.

Embrapa

Soja

