



Dinâmica e estimativas da temperatura e umidade relativa do ar em viveiros protegidos com diferentes sombreamentos

Daniela Roberta BORELLA^{1*}, Adilson Pacheco de SOUZA^{1,2}, Kalisto Natan Carneiro SILVA², Leonardo Martins Moura dos SANTOS², Elen Silma Oliveira Cruz XIMENES³, Alison Martins dos ANJOS²

¹Programa de Pós-Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, MT, Brasil.

²Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil.

³Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Mato Grosso, Sinop, MT, Brasil.

*E-mail: drborella@gmail.com

(Orcid: 0000-0003-2941-2116; 0000-0003-4076-1093; 0000-0001-9755-9086; 0000-0002-7558-9679; 0000-0003-4054-7441; 0000-0003-3234-613X)

Recebido em 17/11/2020; Aceito em 03/02/2021; Publicado em 10/02/2021.

RESUMO: Objetivou-se descrever a dinâmica diária da temperatura (Tar) e umidade relativa do ar (UR) em ambientes protegidos com diferentes telas poliefinas de sombreamento, na região de transição Cerrado-Amazônia do Mato Grosso; ademais, foram avaliados os usos de regressões de estimativa de Tar e UR nos ambientes sombreados com base nas mesmas variáveis medidas em pleno sol. As avaliações micrometeorológicas foram realizadas em viveiros florestais modulares suspensos, alinhados no sentido Leste-Oeste, entre junho de 2017 e abril de 2019, sob telas pretas com níveis crescentes de sombreamento (35, 50, 65 e 80%) e coloridas/espectrais (termorefletores, vermelha, azul e verde, todas com 50% de sombreamento). Os dados do monitoramento micrometeorológico foram agrupados em função das estações hídricas regionais (seca, seca-chuvosa, chuvosa e chuvosa-seca), com separação da base de dados por decêndios. Foram empregados 70 e 30% dos dados para geração e validação das regressões, em cada agrupamento de dados, respectivamente. Na avaliação do desempenho estatístico das regressões foram empregados os indicadores estatísticos: coeficiente de determinação (R^2), erro absoluto médio (MBE), raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) e índice de Willmott (d). Houve dinâmica similar de Tar e UR entre a condição de pleno sol e as telas poliefinas pretas e coloridas ao longo do dia e do ano; porém, com aumento expressivo nos valores médios da Tar e UR nesses ambientes protegidos. Os valores de R^2 foram satisfatórios, demonstrando que mais de 60% da variável dependente (Tar nas telas de sombreamento) está relacionada à variável independente (Tar na condição de pleno sol). O d variou de 0,96 a 0,99, indicando que as regressões de estimativas da Tar e UR ajustadas apresentam desempenho satisfatório para todas as estações hídricas regional nos ambientes sombreados.

Palavras-chave: ambientes protegidos; micrometeorologia; indicadores estatísticos; transição Cerrado-Amazônia.

Dynamics and estimates of air temperature and relative humidity in nurseries protected with different shading

ABSTRACT: The objective was to describe the daily dynamics of temperature (Tar) and relative humidity (RH) in protected environments with different polyolefin shading screens in transition region of Cerrado-Amazônia of Mato Grosso; in addition, the uses regressions of estimation of Tar and RH in shaded environments based on the same variables measured in full sun were evaluated. Micrometeorological assessments were performed in suspended modules forest nurseries, aligned to the East-West direction, between June 2017 and April 2019, under black screens with increasing levels of shading (35, 50, 65 and 80%) and colored / spectral (thermo-reflector, red, blue and green, all with 50% shading). The data of the micrometeorological monitoring were grouped according to the regional water stations (dry, dry-rainy, rainy and rainy-dry), with separation of the database for ten years. 70 and 30% of the data were used to generation and validation the regressions, in each data group, respectively. In the Statistical performance evaluation of the regressions were used the statistical indicators: coefficient of determination (R^2), the mean error (MBE), root mean square error (RMSE) and Willmott's index of adjustment (d). There was similar dynamic of Tar and UR between the condition of full sun and the black and colored polyolefin screens throughout the day and year; however, with a significant increase in the mean values of Tar and UR in these protected environments. The R^2 values were satisfactory, showing that more than 60% of the dependent variable (Tar in the shading screens) is related to the independent variable (Tar in full sun). The d ranged from 0.96 to 0.99, indicating that the adjusted regressions of Tar and UR present satisfactory performance for all regional water stations in shaded environments.

Palavras-chave: protected environments; micrometeorology; statistical indicators; Cerrado-Amazônia transition.

1. INTRODUÇÃO

Condições climáticas adversas como o aumento expressivo da temperatura do ar e a diminuição da disponibilidade hídrica causam impactos na distribuição e diversidade dos vegetais (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017). Em regiões tropicais, essas alterações podem afetar as taxas de desenvolvimento e produtividade das plantas (HATFIELD; PRUEGER, 2015), bem como a germinação de sementes, morfologia e arquitetura de raízes, caules e folhas, acúmulo de biomassa e duração dos ciclos vegetativo e reprodutivo (GRAY; BRADY, 2016), sendo que nesses casos, os estádios de reprodução vegetal podem ser acelerados ou delongados, afetando a formação e qualidade do produto final.

Dentre as alternativas recentes para mitigação dos efeitos dos elementos micrometeorológicos no cultivo de espécies agrícolas e florestais (em todo o ciclo da cultura), destaca-se o cultivo protegido, que visa garantir produtividade e qualidade para espécies que apresentam dificuldades de produção em épocas específicas do ano e/ou em determinadas regiões (HOLCMAN; SENDELHAS, 2012).

Segundo Souza et al. (2013) e Santos et al. (2013), a região Médio-Norte e Norte do Estado de Mato Grosso possui elevadas amplitudes térmicas durante o inverno (superiores a 20,0 °C), com temperaturas médias mensais variando de 22,96 °C (julho) a 25,31 °C (abril), e temperaturas mínimas médias mensais superiores a 15,26 °C (julho). Associado a essa dinâmica da temperatura, os níveis de radiação global médios mensais nessa região variam de $16,56 \pm 2,82 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (fevereiro – mês mais chuvoso da região) a $21,17 \pm 0,83 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (outubro), com aumento da transmissividade atmosférica e do brilho solar entre abril e outubro (SOUZA et al., 2016). Essas condições ambientais limitam a produção qualitativa e quantitativa de algumas espécies vegetais em função dos efeitos negativos supracitados, gerados por condições climáticas adversas.

Essas condições meteorológicas da região supracitada indicam a necessidade de utilização de cultivos em ambientes protegidos, haja visto que, segundo Costa et al. (2017), recomenda-se esse tipo de cultivo em regiões com altas temperaturas, excesso de radiação e períodos longos de chuvas, visando reduzir danos causados nos tecidos celulares de plantas em estado juvenil por estas condições climáticas. Dentre inúmeros danos causados pelas altas temperaturas nas plantas podemos citar alguns, como a desnaturação de membranas, estresse oxidativo, comprometimento na atividade fotossintética e alterações estruturais e metabólicas dos cloroplastos (BALFAGÓN et al., 2019).

Dentre os sistemas de cultivo protegido ocorre uma predominância do uso do plástico, que retém menos calor que o vidro. Recentemente vêm sendo desenvolvidos outros materiais como plásticos de diferentes composições e características físicas, telas aluminizadas ou termorefletoras; todavia, a escolha do tipo de tela e o percentual de sombreamento mais adequado são dependentes da espécie/cultivar e das condições climáticas locais (COSTA et al., 2017; AHEMD et al., 2016).

Associadas às coberturas do ambiente, outras técnicas construtivas vêm sendo empregadas como maiores alturas de pé-direito, cortinas laterais retráteis e nebulização. Contudo, a utilização mais intensa de tecnologias mais eficientes no cultivo protegido embate em possíveis aumentos no custo de produção.

O uso de estufas plásticas e/ou telas de sombreamento modifica o microclima interno através da diminuição da transmissividade da radiação global incidente e, conseqüentemente, melhora a distribuição espacial e temporal (diurna) da temperatura e umidade relativa do ar. Esses ambientes protegidos mantêm níveis adequados para o crescimento uniforme e melhoram a produtividade de culturas agrícolas e florestais em fase inicial de desenvolvimento (SABINO et al., 2020; AHMED et al., 2019). Além disso, funcionam como barreiras contra insetos (TEITEL et al., 2007) e contribuem para a redução da demanda hídrica das plantas (BORELLA et al., 2020; MONTEIRO et al., 2016).

O controle das variáveis meteorológicas no interior de ambientes protegidos é um processo complexo e dinâmico e depende das condições externas (HOLCMAN; SENDELHAS, 2012). Assim, o entendimento da dinâmica micrometeorológica em ambientes sombreados é fundamental para obter informações que auxiliam no controle do ambiente, seleção e manejo das espécies com melhores adaptações à essas condições microclimáticas (SABINO et al., 2020; AHMED et al., 2019; MONTEIRO et al., 2016; HOLCMAN; SENDELHAS, 2012).

O monitoramento da rotina da temperatura e umidade relativa do ar em pesquisas voltadas para ambientes protegidos pode ser realizado a partir de leituras instantâneas de sensores capacitivos associados a sistemas de aquisição de dados (dataloggers), contudo, em função do número de unidades experimentais, o custo de implantação de um sistema de monitoramento pode ser elevado. Em função das inúmeras aplicações para estudos ecofisiológicos e planejamento da produção de espécies/cultivares adaptadas à sazonalidade climática regional, quando não é possível a construção de séries temporais para Tar e UR em ambientes protegidos, torna-se necessário a aplicação de modelos estatísticos simplificados baseados principalmente na condição ambiental normal (pleno sol).

Nesse sentido, objetivou-se descrever a dinâmica microclimática e ajustar modelos estatísticos de estimativas da temperatura (Tar) e umidade relativa do ar (UR), sob telas poliefinas pretas (em níveis crescentes de sombreamento) e telas coloridas (espectrais) em viveiros suspensos, na região de transição Cerrado-Amazônia brasileira.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Região de estudo e instalações (viveiros suspensos)

O estudo foi realizado na região de transição Cerrado-Amazônia, em Sinop-MT (11° 51' 50" S e 55° 29' 08" W e 384 metros de altitude). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima dessa região é caracterizado como Aw (tropical quente e úmido) (SOUZA et al., 2013), com temperaturas médias mensais variando de 24,9 a 27,7 °C e umidade relativa do ar média mensal oscilando entre 52,0 a 86,0%, respectivamente (Figura 1A e 1B). Nessa região, a radiação global e a insolação média mensal oscilam de 16,8 a 21,2 $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e 4,5 a 9,1 horas dia^{-1} (Figura 1C).

A sazonalidade climática da região é definida por duas estações hídricas: chuvosa – de outubro a abril; e seca - maio a setembro (Figura 1D) (SOUZA et al., 2013). A precipitação média anual é de 1.945,0 mm, concentrando mais de 1.700,0 mm nas estações primavera-verão, enquanto que a evapotranspiração de referência oscila de 105,0 a 170,0 mm

mês⁻¹ (3,5 a 5,5 mm dia⁻¹), entre os períodos chuvoso e seco da região, respectivamente (Figura 1D).

Nesse estudo, o monitoramento micrometeorológico ocorreu em viveiros suspensos, dispostos no sentido Leste-Oeste, com dimensões de 3,0 x 1,0 x 1,0 m (comprimento, largura e altura) e a 1,0 m acima do solo (Figura 2). Como referência, adotou-se a condição de pleno sol, enquanto que as demais unidades experimentais apresentavam coberturas superiores, frontais e laterais de telas polifinas pretas com indicações comerciais (35, 50, 65 e 80% de sombreamento), tela termorefletora (Aluminet® - 50% de sombreamento) e telas polifinas coloridas vermelha e azul (Chromatinet® - 50% de sombreamento) e verde (Frontinet® - 50% de sombreamento) (Figura 2).

Na condição de pleno sol, as medidas de Tar e a UR foram realizadas com uma estação meteorológica automática Instrutemp ITWH-1080, a 20 m da área experimental, com armazenamento no intervalo de 30 minutos. Em conjunto, foram realizadas medidas convencionais diárias da insolação

(heliógrafo Campbell-Stokes) para obtenção da radiação global diária com base na razão de insolação e com coeficientes da equação de Angstrom-Prescott calibrados regionalmente na escala mensal (MARTIM et al., 2020).

Nos ambientes protegidos (viveiros) com as telas de sombreamento foram instalados termo-higrômetros com datalogger Instrutemp HT 4000 ICEL a 1,50 m de altura, centralizados no interior de cada unidade experimental, com armazenamento de dados em intervalos de 30 minutos.

Nos ambientes com telas polifinas pretas, o período de monitoramento micrometeorológico ocorreu entre junho de 2017 a abril de 2019, com o seguinte agrupamento sazonal (estações hídricas do ano): seca (jun-jul-ago), seca/chuvosa (set-out-nov), chuvosa (dez-jan-fev) e chuvosa/seca (mar-abr). Já para as telas polifinas coloridas e termorefletora, o monitoramento foi realizado apenas na estação seca de 2017 (junho a setembro), devido à indisponibilidade de equipamentos/sensores para o monitoramento desses microambientes por mais tempo.

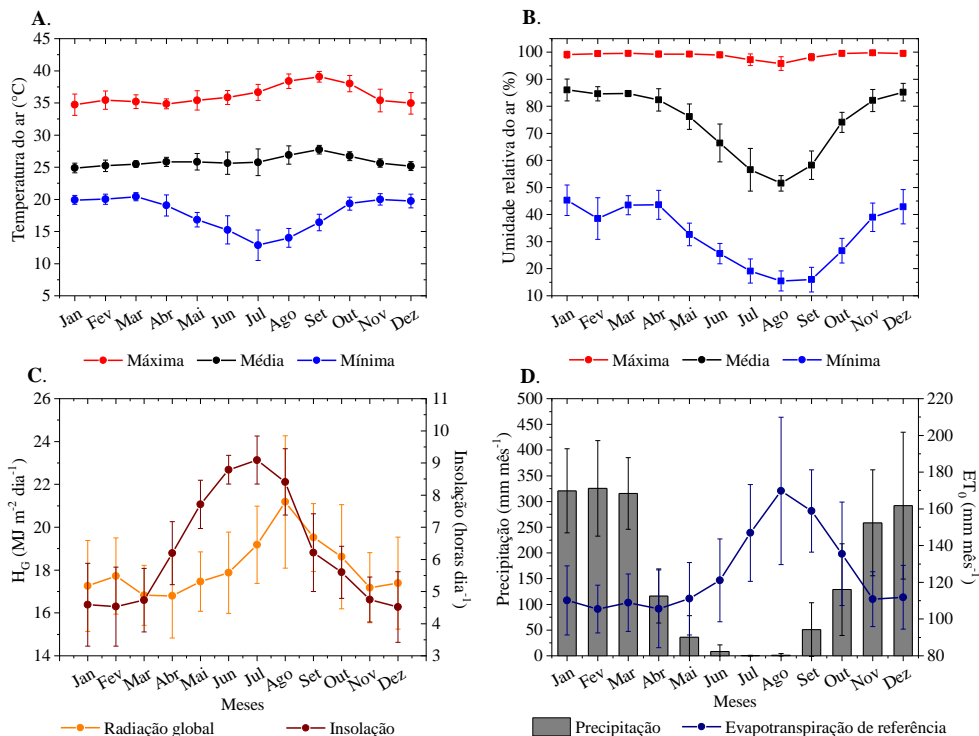


Figura 1. Médias mensais e desvio-padrão da temperatura do ar (A), umidade relativa do ar (B), radiação global e insolação (C), precipitação e evapotranspiração de referência (D), entre 01/09/2010 e 31/12/2019, em Sinop-MT.

Figure 1. Monthly means and standard deviation of air temperature (A), relative air humidity (B), global radiation and sunshine (C), precipitation and reference evapotranspiration (D), between 09/01/2010 and 12/31/2019, in Sinop-MT.

2.2. Modelos estatísticos de estimativa de Tar e UR

Os valores diários (médios, máximos e mínimos) da Tar e UR nas condições de sombreamento foram agrupados nas estações hídricas do ano conforme supracitado e, separados por decêndios para gerarem duas bases de dados: uma com 70% do total dos dados para calibração dos coeficientes estatísticos dos modelos, e outra, com 30% para validação do desempenho estatístico dos modelos de estimativas. Foram gerados agrupamentos de dados para obtenção de estimativas de valores máximos, médios e mínimos diários de Tar e UR.

Avaliou-se a consistência dos dados e excluíram-se os valores discrepantes decorrentes de erros de leitura ou falhas no sistema de aquisição dos dados, com base nos desvios superiores a 50% para cada agrupamento supracitado. Foram

ajustadas regressões lineares simples entre Tar e UR para cada condição de sombreamento (variável dependente) com Tar e UR na condição de pleno sol (variável independente).

Na avaliação do desempenho dos modelos gerados foram empregados os indicadores estatísticos MBE - erro quadrado médio (Eq. 1); o RMSE - Raiz Quadrática do Erro Quadrático Médio (Eq. 2); e o dw (Índice de ajustamento de Willmott), conforme (SOUZA et al., 2017). (Eq. 3).

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (01)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \right]^{0,5} \quad (02)$$

$$dw = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (03)$$

em que P_i - valores estimados; O_i - valores medidos; n - número de observações; $|P_i - \bar{O}|$ - valor absoluto da diferença $P_i - \bar{O}$; $|O_i - \bar{O}|$ - valor absoluto da diferença $O_i - \bar{O}$.

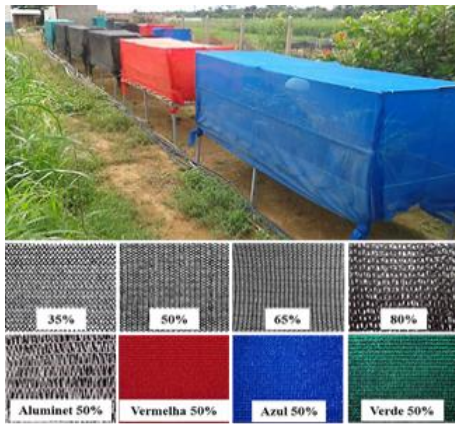


Figura 2. Viveiros suspensos com telas agrícolas poliefinas e a pleno sol, em Sinop-MT.

Figure 2. Suspended nurseries with polyfine screens and in full sun, in Sinop-MT.

3. RESULTADOS

3.1. Dinâmica micrometeorológica de Tar e UR

3.1.1. Tar e UR em Pleno Sol

Durante o período avaliado, na região de estudo ocorreram temperatura e umidade relativa do ar média anual de 26,0 °C e 73,0%. Foram registrados extremos de temperatura do ar de 40,1 e 9,7 °C, enquanto que para UR, os valores máximo e mínimo foram de 99,4 e 10,0%, respectivamente. As maiores amplitudes térmicas ocorreram durante a estação seca, variando de 21,5 a 27,3 °C entre os valores máximos e mínimos (Figura 3A). Para a umidade relativa do ar as maiores amplitudes foram de 78,0 a 88,0%

também na estação seca (Figura 3B). Os valores médios anuais da radiação global e insolação foram de 16,8 MJ m⁻² dia⁻¹ e 6,7 horas dia⁻¹.

3.1.2. Tar e UR sob telas poliefinas pretas

Observou-se dinâmica semelhante à condição de pleno sol na sazonalidade de Tar e UR nos ambientes com telas poliefinas pretas com 35, 50, 65 e 80% de sombreamento (Figuras 4 e 5). No entanto, quando comparado a condição de pleno sol, houve para temperatura do ar acréscimo expressivo nos valores máximos e médios e decréscimo nos mínimos, enquanto para umidade relativa do ar registrou-se aumento notável nos valores médios e mínimos.

Foram registrados no interior das telas de sombreamentos valores de Tar média de 26,4 e 26,0 °C nas estações chuvosa e seca, respectivamente (Figuras 4E e 4H). O aumento no nível de sombreamento acarretou acréscimo de até 2,0% na UR média diária, com variações entre 82,0 e 84,0% na estação chuvosa e de 60,0 e 62,0% na estação seca (Figura 5E e 5H).

Para essa mesma região de estudo, Sabino et al. (2020) verificaram entre julho/2015 a abril/2016, valores médios diários de Tar e UR próximos de 26,0 °C e 90,0% nas telas pretas de 35, 50, 65 e 80% de sombreamento, indicando ainda uma redução de Tar e aumento de UR com relação ao pleno sol.

Na estação seca ocorreram maiores flutuações nos valores de Tar máxima e mínima diária, atingindo como valores extremos 45,6 °C (às 15:00 h em julho) e 45,8 °C (às 12:00 h em agosto), e 9,3 a 9,7 °C (ambas às 05:00 h em julho), para as telas poliefinas pretas com 50 e 80% de sombreamento, respectivamente (Figura 4D-4I). Em contrapartida, constatou-se menor amplitude entre os valores máximos e mínimos de UR nesses ambientes protegidos, atingindo 100,0% no período noturno durante a estação chuvosa e 20,0% entre às 12:00 e 13:00 h na estação seca da região (Figura 5D- 5I).

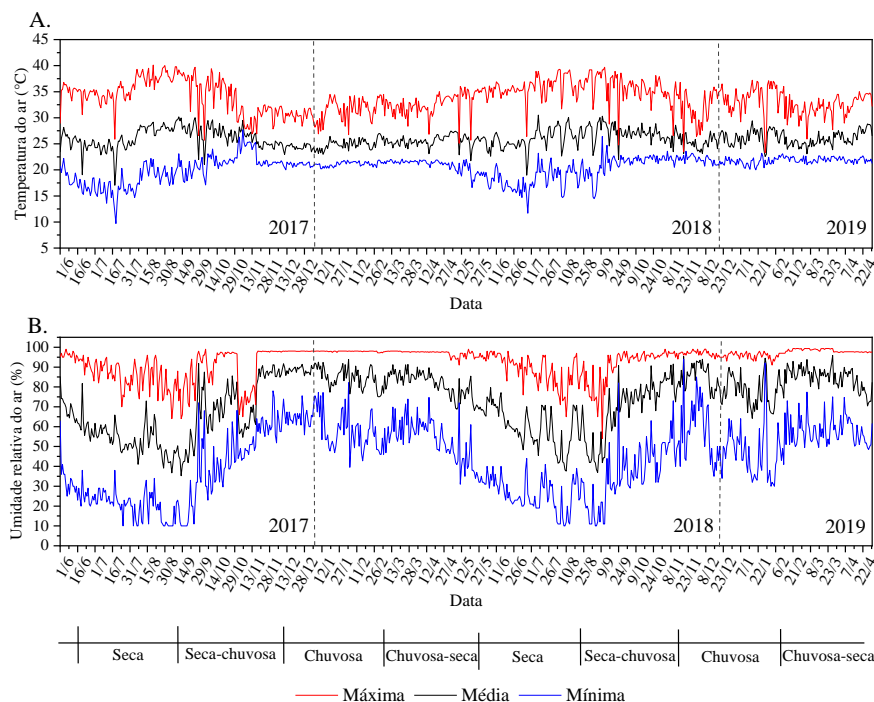


Figura 3. Temperatura do ar (A) e umidade relativa do ar (B) máxima, média e mínima diária, em Sinop-MT, entre 01/06/2017 e 30/04/2019. Figure 3. Air temperature (A) and relative humidity (B) maximum, mean and minimum daily, in Sinop-MT, between 06/01/2017 and 04/30/2019.

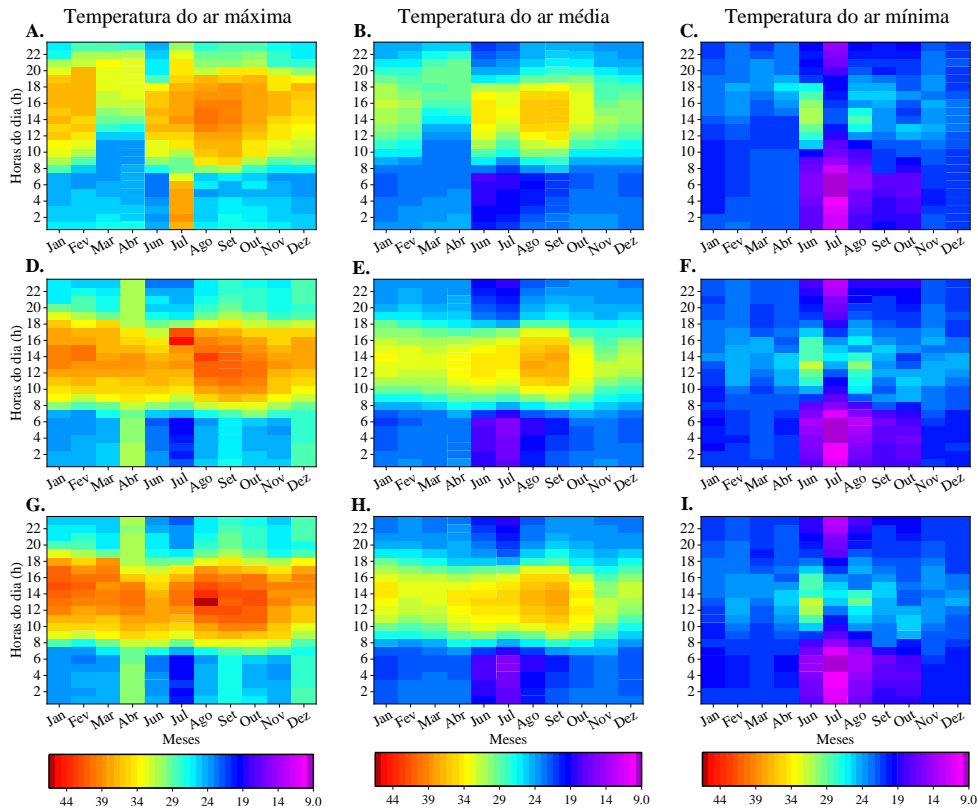


Figura 4. Dinâmica da temperatura do ar máxima, média e mínima diária ao longo do ano, em condições de pleno sol (A-B-C) e sob telas polietileno pretas de 50% (D-E-F) e 80% (G-H-I), entre 04/06/2017 e 30/04/2019, em Sinop-MT.

Figure 4. Dynamic of the maximum, mean and minimum daily temperature throughout the year, in full sun conditions (A-B-C) and under black polyethylene screens at 50% (D-E-F) and 80% (G-H-I), between 06/04/2017 and 04/30/2019, in Sinop-MT.

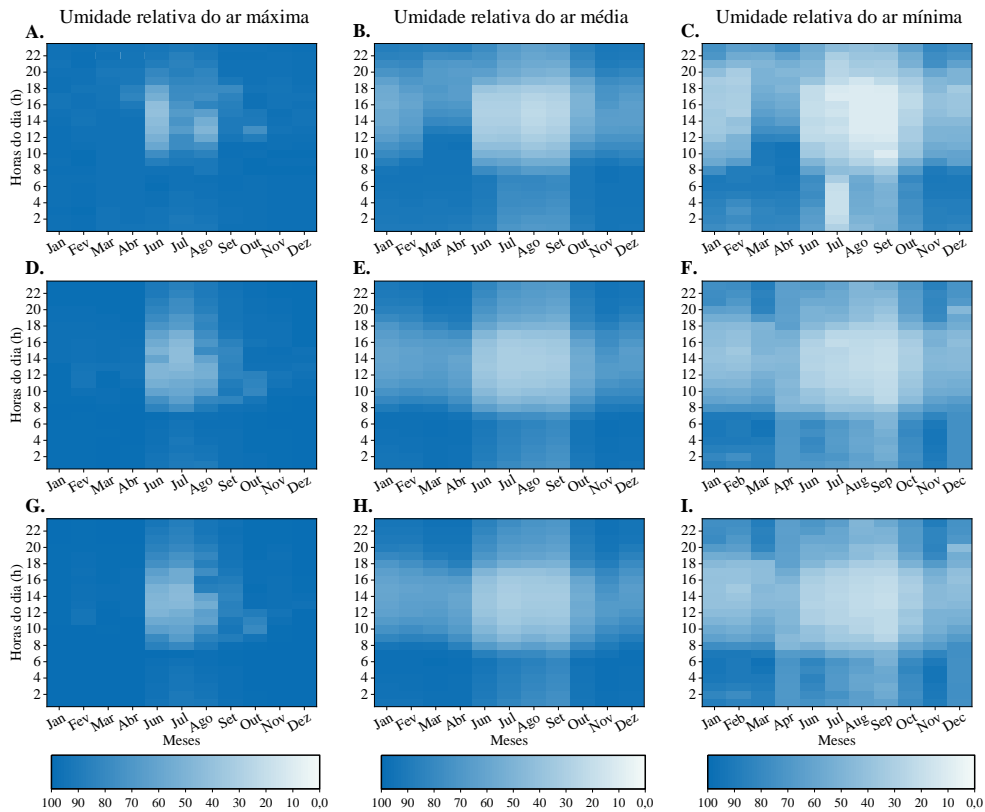


Figura 5. Dinâmica da umidade relativa do ar máxima, média e mínima diária ao longo do ano em condições de pleno sol (A-B-C) e sob telas polietileno pretas de 50% (D-E-F) e 80% (G-H-I), entre 04/06/2017 e 30/04/2019, em Sinop-MT.

Figure 5. Dynamic of the maximum, mean and minimum daily air relative humidity throughout the year, in full sun (A-B-C) conditions and under black polyethylene screens of 50% (D-E-F) and 80% (G-H-I), between 06/04/2017 and 30 / 04/2019, in Sinop-MT.

3.1.3. Tar e UR sob telas poliefinas coloridas

Registrou-se valores médios diários de Tar de $26,7 \pm 0,1$ °C e UR de $62,0 \pm 0,3\%$ no interior das telas poliefinas termoreflatora, vermelha, azul e verde durante a estação seca (junho-setembro/2017), sem diferenças significativas entre as condições de sombreamento (Figuras 6 e 7). Esses valores foram superiores aos registrados na tela poliefina preta (50% de sombreamento), que gerou médias diárias de $26,0$ °C e $61,0\%$, e na condição de pleno sol com médias de $26,2$ °C e $58,0\%$.

Sabino et al. (2020) encontraram para essas mesmas telas de sombreamento, valores médios de Tar e UR de $25,3$ °C e $85,6\%$ sob tela azul; enquanto que para as demais telas, a Tar média foi $27,0$ °C e a UR média variou de $81,4$, $81,2$ e $82,2\%$

sob telas vermelha, verde e termoreflatora, respectivamente. Contudo, ressalta-se que os resultados obtidos nas telas coloridas por Sabino et al. (2020) abrangeram as estações seca e chuvosa do ano na região, enquanto que o presente trabalho avaliou apenas a estação seca.

Os meses de agosto e setembro apresentaram temperaturas máximas de $40,1$ °C (às 14:00 h) na condição de pleno sol, e ainda, $41,2$; $50,2$; $48,9$; $47,1$ e $46,0$ °C (entre às 12:00 e 13:00 h) nas telas poliefinas preta 50%, termoreflatora, vermelha, azul e verde, respectivamente (Figura 6). A umidade relativa do ar mínima chegou a $10,0\%$ (das 12:00 às 17:00 h) na condição de pleno sol, e $18,0\% \pm 1,0\%$ (das 12:00 às 13:00 h) nas telas poliefinas coloridas (Figura 7).

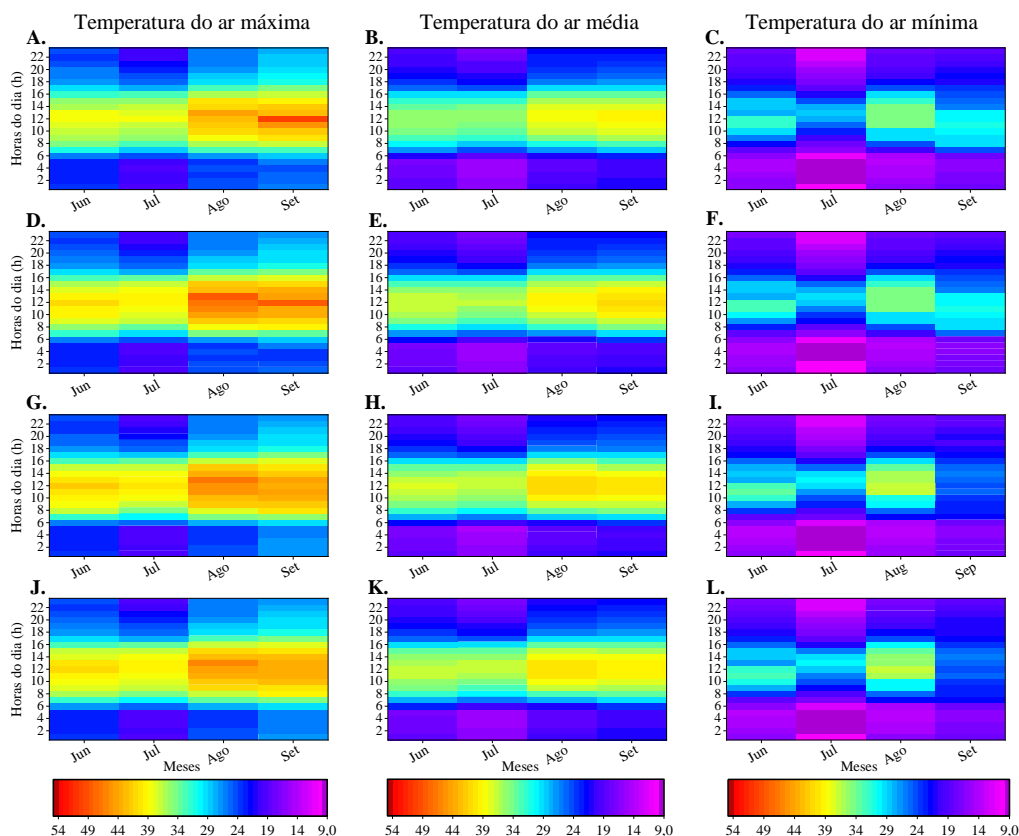


Figura 6. Dinâmica da temperatura do ar máxima, média e mínima diária ao longo do ano, em condições de sombreamento com telas poliefinas aluminet 50% (A-B-C), chromatinet vermelha 50% (D-E-F), chromatinet azul 50% (G-H-I) e frontinet verde 50% (J-K-L), entre 04/06/2017 e 30/09/2017, em Sinop-MT.

Figure 6. Dynamic of the maximum, mean and minimum daily temperature throughout the year, in shadowing to colours poliefinas screens aluminet 50% (A-B-C), chromatinet red 50% (D-E-F), chromatinet blue 50% (G-H-I) e frontinet green 50% (J-K-L), between 06/04/2017 and 09/30/2017, in Sinop-MT.

3.2. Medidas e estimativas de Tar e UR sob telas poliefinas pretas e coloridas

Independentemente da tela de sombreamento, as maiores e menores amplitudes de Tar e UR ocorreram na estação seca com $20,0$ °C e $60,0\%$, e na transição das estações chuvosa-seca com $11,0$ °C e $36,0\%$, respectivamente (Figuras 8 e 9).

Na estação seca, as maiores amplitudes térmicas foram dependentes de forma mais expressa da diminuição de $T_{mín}$ (temperatura mínima diária), quando comparado com o crescimento de $T_{máx}$ (temperatura máxima diária). As médias diárias (considerando a estação seca) de Tar foi de $25,0$ °C sob pleno sol e telas poliefinas pretas de sombreamento, contudo, menores quando comparado com a estação chuvosa e transição chuvosa-seca. Na estação

chuvosa, a Tar média se manteve mais elevada e constante ($27,0$ °C) em todas as telas de sombreamento e na condição de pleno sol. Esse comportamento, decorre da presença de vapor d'água na atmosfera, que desempenha um papel de condicionador térmico do ar, absorvendo boa parte da radiação em ondas curtas (diminuindo a transmissividade atmosférica) e aumenta a incidência de radiação em ondas longas atmosféricas (SANTOS et al., 2013), que condicionam a elevação da temperatura do ar.

Os valores dos desvios padrões (linhas vermelhas) indicam a variabilidade dos valores máximos, médios e mínimos diários de Tar e UR, especificamente para cada estação hídrica avaliada. Os valores estimados (marcadores "pontos" pretos) se aproximaram dos valores medidos nas

telas poliefinas pretas de sombreamento em todas as estações hídricas do ano, exceto para T_{máx} (Figura 8D) e UR_{mín} (Figura 9D) na transição chuvosa-seca.

Os menores valores médios de UR ocorreram na estação seca, entre 50,0 a 60,0%, com mínimas observadas inferiores a 35,0%, enquanto que, na estação chuvosa e nas transições

(seca-chuvosa e chuvosa-seca), a UR média foi superior a 70,0%, independentemente da condição de sombreamento.

Em geral, as diferenças entre os valores observados e estimados de Tar e UR nas telas coloridas com 50,0% de sombreamento foram próximas, não ultrapassando de 0,4 °C e 1%, nessa ordem (Figura 10).

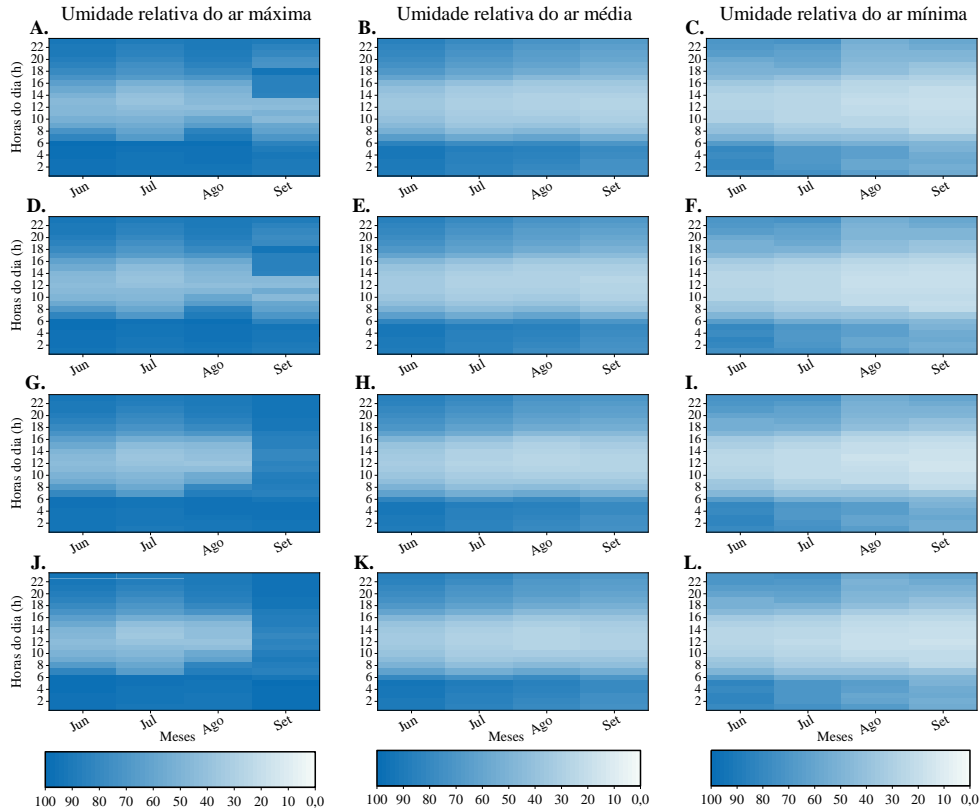


Figura 7. Dinâmica da umidade relativa do ar máxima, média e mínima diária ao longo do ano, em condições de sombreamento com telas poliefinas aluminet 50% (A-B-C), chromatinet vermelha 50% (D-E-F), chromatinet azul 50% (G-H-I) e frontinet verde 50% (J-K-L), entre 04/06/2017 e 30/09/2017, em Sinop-MT.

Figure 7. Dynamic of the maximum, mean and minimum daily relative humidity throughout the year, in shadowing to colours poliefins screens aluminet 50% (A-B-C), chromatinet red 50% (D-E-F), chromatinet blue 50% (G-H-I) e frontinet green 50% (J-K-L), between 06/04/2017 and 09/30/2017, in Sinop-MT.

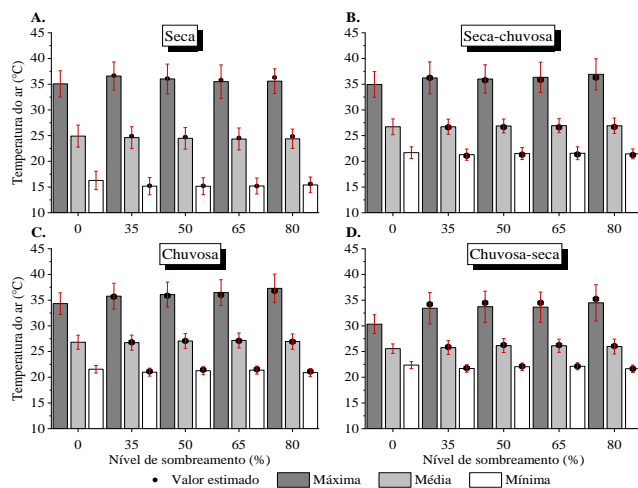


Figura 8. Temperatura do ar máxima, média e mínima observada e estimada sob diferentes telas poliefinas pretas e pleno sol, em diferentes estações hídricas do ano, entre 04/06/2017 e 30/04/2019, em Sinop-MT.

Figure 8. Maximum, mean and minimum air temperature observed and estimated under different black poliefins screens and full sun, in different water seasons of the year, between 06/04/2017 and 04/30/2019, in Sinop-MT.

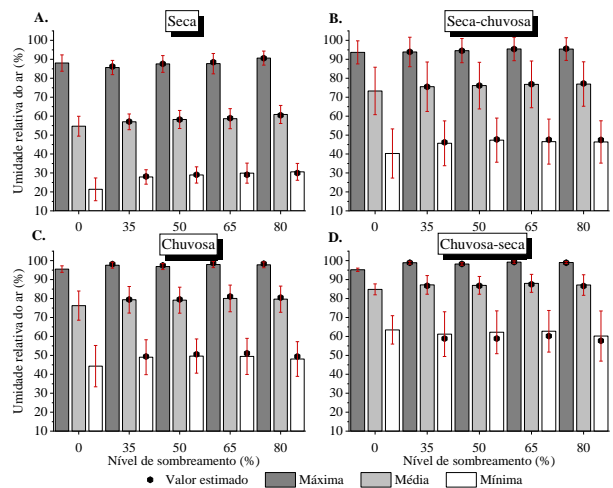


Figura 9. Umidade relativa do ar máxima, média e mínima observada e estimada sob diferentes telas poliefinas pretas e pleno sol, em diferentes estações hídricas do ano, entre 04/06/2017 e 30/04/2019, em Sinop-MT.

Figure 9. Maximum, mean and minimum relative humidity observed and estimated under different black poliefins screens and full sun, in different water seasons of the year, between 06/04/2017 and 04/30/2019, in Sinop-MT.

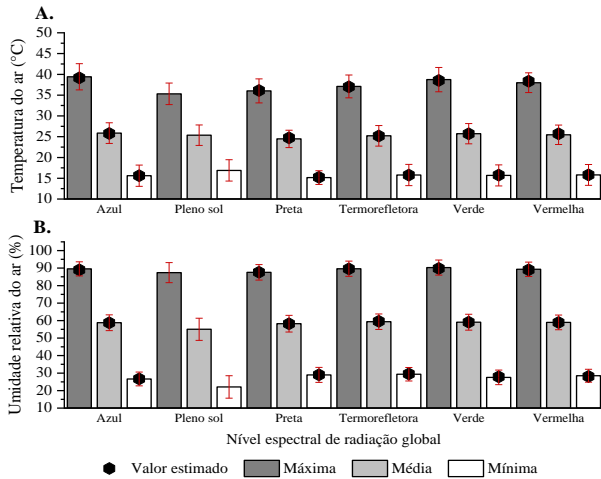


Figura 10. Temperatura e umidade relativa do ar máxima, média e mínima observada e estimada sob diferentes telas poliefinas coloridas, preta 50% e pleno sol, na estação seca, em Sinop-MT.
 Figure 10. Maximum, mean and minimum air temperature and relative humidity observed and estimated under different colours poliefins screens, black 50% and full sun, in dry season, in Sinop-MT.

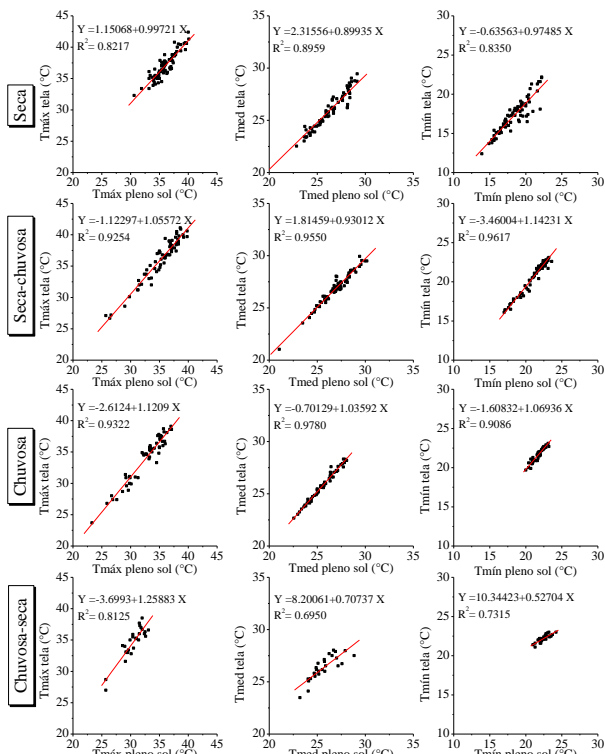


Figura 11. Equações lineares de estimativas da temperatura máxima (T_{max}), média (T_{med}) e mínima (T_{min}), sob tela poliefina preta 50%, em diferentes estações hídricas do ano, em Sinop-MT. (As mesmas variáveis em pleno Sol correspondem a "X")
 Figure 11. Linear equations for estimatives for maximum (T_{max}), mean (T_{med}) and minimum (T_{min}) air temperature, under 50% black poliefins screen, in different water conditions of the year, in Sinop-MT. (The same variables in full sun correspond to "X")

3.3. Equações estatísticas de estimativas de Tar e UR

Foram ajustadas regressões lineares simplificadas baseadas na condição pleno sol como referência, visto que o seu monitoramento de rotina é realizado com mais facilidade em diversas regiões brasileiras. Além disso, visando aplicações em pesquisas agrícolas e ambientais regionais, as regressões foram ajustadas em condições físico-hídricas distintas baseadas no regime hídrico da região (seca, seca-chuvosa, chuvosa, chuvosa-seca). Observou-se regressões crescentes, independente da estação hídrica do ano (Figuras 11 e 12, e Tabelas 1 e 2).

Os coeficientes de determinação (R²) das regressões ajustadas para Tar variaram de 62 a 90% e de 89 a 98% nas estações seca e chuvosa; de 89 a 97% e de 65 a 83% nas transições seca-chuvosa e chuvosa-seca, respectivamente (Tabela 1). Em geral, os valores de R² indicam que mais de 60 % da variável dependente (temperatura do ar nas telas de sombreamento) está relacionada à variável independente (temperatura do ar na condição de pleno sol).

Os valores de MBE variaram de -0,003 a 0,73 °C na seca; de -0,63 a 0,02 °C na seca-chuvosa; de -0,49 a 0,22 °C na chuvosa e de -0,02 a 0,84 °C na chuvosa-seca; sendo que as maiores subestimativas ocorreram na transição seca-chuvosa e na estação chuvosa. Os espalhamentos (RMSE) variaram de 0,31 a 1,04 °C; 0,38 a 1,08 °C; 0,18 a 1,12 °C e 0,35 a 1,39 °C nas estações seca, seca-chuvosa, chuvosa e chuvosa-seca, respectivamente (Tabela 1).

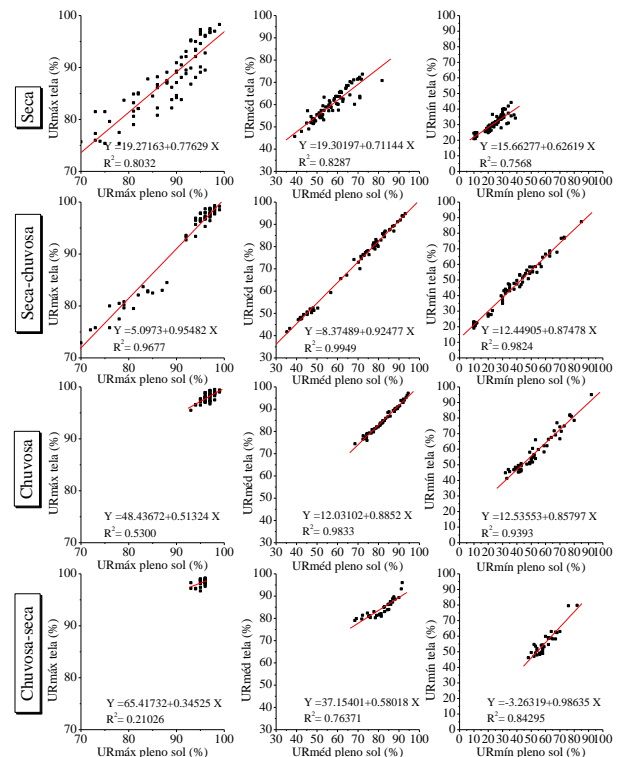


Figura 12. Equações lineares de estimativas da umidade relativa do ar máxima (UR_{max}), média (UR_{med}) e mínima (UR_{min}), sob tela poliefina preta 50%, em diferentes estações hídricas do ano, em Sinop-MT. (As mesmas variáveis em pleno Sol correspondem a "X")
 Figure 12. Linear equations for estimatives for maximum (UR_{max}), mean (UR_{med}) and minimum (UR_{min}) relative humidity, under 50% black poliefins screen, in different water conditions of the year, in Sinop-MT. (The same variables in full sun correspond to "X")

Tabela 1. Equações de estimativas da temperatura e umidade relativa do ar (máxima, média e mínima) em diferentes condições de sombreamento e estações hídricas do ano, em Sinop-MT.

Table 1. Equations for estimating air temperature and relative humidity (maximum, mean and minimum) under different shading conditions and water seasons of the year, in Sinop-MT.

Estação Hídrica	Telas	Variáveis	Equações lineares	R ²	MBE	RMSE	d
Seca	Preta 35,0%	Tmáx	$Y = 2,65647 + 0,97016 X$	0,791	0,0856	0,6686	0,9983
		Tméd	$Y = 2,8984 + 0,88355 X$	0,901	0,2876	0,3885	0,9990
		Tmín	$Y = -0,52986 + 0,9697 X$	0,836	0,0848	0,3138	0,9994
	Preta 50,0%	Tmáx	$Y = 1,15068 + 0,99721 X$	0,822	0,0888	0,7360	0,9983
		Tméd	$Y = 2,31556 + 0,89935 X$	0,896	0,2492	0,3846	0,9991
		Tmín	$Y = -0,63563 + 0,97485 X$	0,835	0,0696	0,3500	0,9992
	Preta 65,0%	Tmáx	$Y = -1,22747 + 1,05608 X$	0,767	0,2916	0,9528	0,9977
		Tméd	$Y = 1,1144 + 0,94004 X$	0,890	0,1856	0,3783	0,9992
		Tmín	$Y = -0,61268 + 0,97133 X$	0,832	-0,0028	0,5237	0,9981
	Preta 80,0%	Tmáx	$Y = 4,76694 + 0,90021 X$	0,625	0,7284	10,4390	0,9959
		Tméd	$Y = 3,87622 + 0,84182 X$	0,864	0,4600	0,5294	0,9981
		Tmín	$Y = 1,07775 + 0,89239 X$	0,741	0,1904	0,4707	0,9985
	Preta 35,0%	URmáx	$Y = 18,96244 + 0,76384 X$	0,818	0,5592	16,2900	0,9965
		URméd	$Y = 18,23695 + 0,71164 X$	0,853	0,1532	0,9119	0,9991
		URmín	$Y = 15,32479 + 0,60092 X$	0,738	0,2568	12,9200	0,9975
	Preta 50,0%	URmáx	$Y = 19,27163 + 0,77629 X$	0,803	0,0600	24,0810	0,9939
		URméd	$Y = 19,30197 + 0,71144 X$	0,829	-0,0184	16,0860	0,9976
		URmín	$Y = 15,66277 + 0,62619 X$	0,757	0,0704	13,4660	0,9976
	Preta 65,0%	URmáx	$Y = 19,82136 + 0,77998 X$	0,738	0,7712	36,7670	0,9900
		URméd	$Y = 19,82095 + 0,71513 X$	0,789	0,2440	21,3990	0,9965
		URmín	$Y = 15,9054 + 0,61725 X$	0,702	-0,8268	24,7150	0,9935
	Preta 80,0%	URmáx	$Y = 31,01001 + 0,67677 X$	0,794	-0,0708	19,8170	0,9940
		URméd	$Y = 24,17127 + 0,66366 X$	0,806	-0,4304	17,8870	0,9969
		URmín	$Y = 17,11135 + 0,60171 X$	0,698	-0,6348	15,7520	0,9967
Seca-Chuvosa	Preta 35,0%	Tmáx	$Y = -4,30091 + 1,16002 X$	0,909	0,0235	10,4160	0,9975
		Tméd	$Y = -1,05793 + 1,0365 X$	0,970	-0,0977	0,4209	0,9985
		Tmín	$Y = -2,17719 + 1,07293 X$	0,973	-0,2188	0,3977	0,9976
	Preta 50,0%	Tmáx	$Y = -1,12297 + 1,05572 X$	0,925	-0,2335	0,8702	0,9979
		Tméd	$Y = 1,81459 + 0,93012 X$	0,955	-0,2058	0,3816	0,9985
		Tmín	$Y = -3,46004 + 1,14231 X$	0,962	-0,2100	0,4120	0,9977
	Preta 65,0%	Tmáx	$Y = -1,57702 + 1,07072 X$	0,888	-0,4973	10,7870	0,9970
		Tméd	$Y = 2,69599 + 0,89591 X$	0,919	-0,3031	0,4479	0,9980
		Tmín	$Y = -4,24586 + 1,18009 X$	0,953	-0,2385	0,4139	0,9980
	Preta 80,0%	Tmáx	$Y = -3,64833 + 1,14296 X$	0,887	-0,6281	10,7700	0,9973
		Tméd	$Y = 0,58039 + 0,97728 X$	0,944	-0,2296	0,5341	0,9977
		Tmín	$Y = -0,65502 + 1,00966 X$	0,953	-0,2154	0,4359	0,9966
	Preta 35,0%	URmáx	$Y = -4,44846 + 1,0505 X$	0,918	0,0662	31,4360	0,9965
		URméd	$Y = 5,22529 + 0,95886 X$	0,990	-0,0281	16,8340	0,9997
		URmín	$Y = 10,64328 + 0,88114 X$	0,979	0,4912	32,4410	0,9989
	Preta 50,0%	URmáx	$Y = 5,0973 + 0,95482 X$	0,968	-0,0727	12,9480	0,9990
		URméd	$Y = 8,37489 + 0,92477 X$	0,995	0,0242	12,9010	0,9998
		URmín	$Y = 12,44905 + 0,87478 X$	0,982	0,3719	25,6580	0,9993
	Preta 65,0%	URmáx	$Y = 10,97043 + 0,90179 X$	0,963	-0,0312	12,6220	0,9990
		URméd	$Y = 9,44871 + 0,91982 X$	0,994	0,0827	13,7440	0,9998
		URmín	$Y = 11,21279 + 0,90188 X$	0,983	10,023	27,4040	0,9992
	Preta 80,0%	URmáx	$Y = 19,73537 + 0,81057 X$	0,939	0,2292	16,2840	0,9982
		URméd	$Y = 13,31271 + 0,87239 X$	0,992	0,3058	13,6280	0,9998
		URmín	$Y = 12,37236 + 0,86965 X$	0,978	10,454	26,1720	0,9992

em que: Tmáx, Tméd e Tmín são as temperaturas máximas, médias e mínimas diárias (em °C); URmáx, URméd e URmín são as umidades relativa do ar máxima, média e mínima diárias (em %), respectivamente; R² é o coeficiente de determinação; MBE e RMSE são o erro quadrado médio e a raiz quadrática do erro quadrático médio (em °C para Tar e % para UR); “d” é o índice de ajustamento de Willmott. Nas regressões lineares “X” representa as mesmas variáveis obtidas na condição de pleno sol.

Tabela 1. Equações de estimativas da temperatura e umidade relativa do ar (máxima, média e mínima) ... CONTINUAÇÃO
 Table 1. Equations for estimating air temperature and relative humidity (maximum, mean and minimum) ... CONTINUATION

Estação Hídrica	Telas	Variáveis	Equações lineares	R ²	MBE	RMSE	d
Chuvosa	Preta 35,0%	Tmáx	$Y = -4,20903 + 1,1621 X$	0,938	-0,0964	0,8086	0,9984
		Tméd	$Y = -1,64473 + 1,06104 X$	0,980	0,0596	0,2263	0,9997
		Tmín	$Y = -1,57304 + 1,05325 X$	0,927	0,1472	0,3003	0,9979
	Preta 50,0%	Tmáx	$Y = -2,6124 + 1,1209 X$	0,932	-0,2264	0,8193	0,9983
		Tméd	$Y = -0,70129 + 1,03592 X$	0,978	0,0168	0,1824	0,9998
		Tmín	$Y = -1,60832 + 1,06936 X$	0,909	0,1784	0,3298	0,9975
	Preta 65,0%	Tmáx	$Y = -3,37431 + 1,14716 X$	0,926	-0,4756	0,9297	0,9979
		Tméd	$Y = -0,33665 + 1,02326 X$	0,975	-0,0628	0,2152	0,9997
		Tmín	$Y = -1,75421 + 1,08049 X$	0,919	0,1444	0,3215	0,9976
	Preta 80,0%	Tmáx	$Y = -5,99624 + 1,24703 X$	0,918	-0,4856	11,2330	0,9975
		Tméd	$Y = -1,67922 + 1,06665 X$	0,965	-0,0248	0,2694	0,9995
		Tmín	$Y = -1,11014 + 1,03101 X$	0,894	0,2196	0,3613	0,9969
	Preta 35,0%	URmáx	$Y = 48,34581 + 0,52142 X$	0,512	0,5636	10,1310	0,9880
		URméd	$Y = 8,53038 + 0,93046 X$	0,983	0,1423	0,7652	0,9998
		URmín	$Y = 9,2585 + 0,90623 X$	0,949	0,4023	17,8310	0,9994
	Preta 50,0%	URmáx	$Y = 48,43672 + 0,51324 X$	0,530	0,5873	0,9982	0,9883
		URméd	$Y = 12,03102 + 0,8852 X$	0,983	0,4077	0,8757	0,9997
		URmín	$Y = 12,53553 + 0,85797 X$	0,939	0,9273	17,9380	0,9994
	Preta 65,0%	URmáx	$Y = 56,75795 + 0,43903 X$	0,551	0,7677	12,3570	0,9841
		URméd	$Y = 15,17189 + 0,86365 X$	0,973	0,9609	13,7380	0,9994
		URmín	$Y = 12,12893 + 0,87973 X$	0,945	16,445	23,4760	0,9990
	Preta 80,0%	URmáx	$Y = 57,69386 + 0,42609 X$	0,543	0,6132	11,2430	0,9830
		URméd	$Y = 13,64548 + 0,87654 X$	0,967	0,8223	12,0380	0,9995
		URmín	$Y = 9,32647 + 0,90477 X$	0,949	13,373	23,6540	0,9990
Chuvosa-Seca	Preta 35,0%	Tmáx	$Y = -4,67908 + 1,28118 X$	0,813	0,7669	12,9340	0,9926
		Tméd	$Y = 7,44091 + 0,72259 X$	0,708	0,1392	0,7972	0,9801
		Tmín	$Y = 8,91486 + 0,57518 X$	0,733	0,0731	0,3869	0,9869
	Preta 50,0%	Tmáx	$Y = -3,6993 + 1,25883 X$	0,813	0,7700	13,9470	0,9912
		Tméd	$Y = 8,20061 + 0,70737 X$	0,695	0,1185	0,7760	0,9805
		Tmín	$Y = 10,34423 + 0,52704 X$	0,732	0,0799	0,3978	0,9853
	Preta 65,0%	Tmáx	$Y = -5,79628 + 1,32741 X$	0,804	0,8369	13,3210	0,9922
		Tméd	$Y = 7,7636 + 0,72337 X$	0,703	0,1169	0,7176	0,9828
		Tmín	$Y = 9,48285 + 0,56576 X$	0,740	0,0008	0,3451	0,9881
	Preta 80,0%	Tmáx	$Y = -7,12959 + 1,39644 X$	0,826	0,7585	13,9330	0,9932
		Tméd	$Y = 6,44111 + 0,76808 X$	0,679	0,0946	0,8613	0,9801
		Tmín	$Y = 10,15343 + 0,51349 X$	0,654	-0,0208	0,4024	0,9836
	Preta 35,0%	URmáx	$Y = 66,08547 + 0,34511 X$	0,217	0,0273	0,4755	0,9714
		URméd	$Y = 34,93409 + 0,61073 X$	0,771	-0,4618	31,0900	0,9669
		URmín	$Y = -9,19799 + 1,07297 X$	0,865	-23,309	49,9820	0,9897
	Preta 50,0%	URmáx	$Y = 65,41732 + 0,34525 X$	0,210	0,0336	0,3977	0,9755
		URméd	$Y = 37,15401 + 0,58018 X$	0,764	-0,2109	28,3910	0,9697
		URmín	$Y = -3,26319 + 0,98635 X$	0,843	-33,036	51,4920	0,9895
	Preta 65,0%	URmáx	$Y = 70,21006 + 0,30531 X$	0,179	0,0418	0,3904	0,9750
		URméd	$Y = 38,50593 + 0,57754 X$	0,741	-0,5273	30,2980	0,9655
		URmín	$Y = -6,56815 + 1,05259 X$	0,856	-24,945	47,7350	0,9901
	Preta 80,0%	URmáx	$Y = 74,98659 + 0,25126 X$	0,109	-0,0855	0,4065	0,9612
		URméd	$Y = 35,40553 + 0,60407 X$	0,731	-0,4836	35,7350	0,9625
		URmín	$Y = -8,10229 + 1,03705 X$	0,835	-24,973	62,5290	0,9863

em que: Tmáx, Tméd e Tmín são as temperaturas máximas, médias e mínimas diárias (em °C); URmáx, URméd e URmín são as umidades relativa do ar máxima, média e mínima diárias (em %), respectivamente; R² é o coeficiente de determinação; MBE e RMSE são o erro quadrado médio e a raiz quadrática do erro quadrático médio (em °C para Tar e % para UR); “d” é o índice de ajustamento de Willmott. Nas regressões lineares “X” representa as mesmas variáveis obtidas na condição de pleno sol.

Tabela 2. Equações de estimativas da temperatura e umidade relativa do ar (máxima, média e mínima) sob diferentes telas poliefinas coloridas na estação seca, em Sinop-MT.

Table 2. Equations for estimating air temperature and relative humidity (maximum, mean and minimum) under different colours poliefin screens in dry season, in Sinop-MT.

Telas	Variáveis	Equações lineares	R ²	MBE	RMSE	d
Termorefletora 50,0%	T _{máx}	Y = 2,90072 + 0,9662 X	0,8383	-0,1100	0,9709	0,9982
	T _{méd}	Y = -0,13929 + 0,99898 X	0,9673	-0,0456	0,4412	0,9995
	T _{mín}	Y = -1,69668 + 1,04044 X	0,9259	-0,0191	0,4563	0,9996
Vermelha 50,0%	T _{máx}	Y = 0,55982 + 1,07096 X	0,7150	0,3626	1,1305	0,9970
	T _{méd}	Y = 14,58562 + 0,80978 X	0,9800	0,2491	0,4825	0,9994
	T _{mín}	Y = -1,49019 + 1,03006 X	0,9215	-0,0097	0,4881	0,9995
Azul 50,0%	T _{máx}	Y = 3,32856 + 1,01496 X	0,7824	-0,2612	1,2564	0,9977
	T _{méd}	Y = 0,03608 + 1,01651 X	0,9425	-0,0744	0,5042	0,9994
	T _{mín}	Y = -2,0143 + 1,05114 X	0,9179	0,0085	0,4973	0,9995
Verde 50,0%	T _{máx}	Y = 4,88752 + 0,95335 X	0,7597	-0,2088	1,0977	0,9979
	T _{méd}	Y = 0,72393 + 0,98625 X	0,9495	-0,0297	0,4594	0,9995
	T _{mín}	Y = -1,55616 + 1,03121 X	0,9140	0,0538	0,5215	0,9994
Termorefletora 50,0%	UR _{máx}	Y = 24,16873 + 0,7453 X	0,9228	-0,0975	1,9256	0,9969
	UR _{méd}	Y = 14,51544 + 0,82321 X	0,9808	0,2225	1,6808	0,9982
	UR _{mín}	Y = 13,79452 + 0,7306 X	0,9220	0,1441	1,2147	0,9986
Vermelha 50,0%	UR _{máx}	Y = 28,44125 + 0,69064 X	0,9197	-0,3134	1,7767	0,9969
	UR _{méd}	Y = 14,58562 + 0,80978 X	0,9800	-0,0797	1,4820	0,9984
	UR _{mín}	Y = 13,10718 + 0,69831 X	0,9090	-0,3931	1,4840	0,9977
Azul 50,0%	UR _{máx}	Y = 32,74801 + 0,64101 X	0,9078	-0,5772	2,2714	0,9946
	UR _{méd}	Y = 14,77719 + 0,80284 X	0,9697	-0,0597	1,6649	0,9982
	UR _{mín}	Y = 10,95874 + 0,73087 X	0,9230	0,0244	1,4499	0,9982
Verde 50,0%	UR _{máx}	Y = 28,32971 + 0,70054 X	0,9002	-0,5219	2,2957	0,9955
	UR _{méd}	Y = 15,83333 + 0,79007 X	0,9714	-0,0231	1,5851	0,9984
	UR _{mín}	Y = 13,63842 + 0,66231 X	0,8820	0,3213	1,3619	0,9983

em que: T_{máx}, T_{méd} e T_{mín} são as temperaturas máximas, médias e mínimas diárias (em °C); UR_{máx}, UR_{méd} e UR_{mín} são as umidades relativa do ar máxima, média e mínima diárias (em %), respectivamente; R² é o coeficiente de determinação; MBE e RMSE são o erro quadrado médio e a raiz quadrática do erro quadrático médio (em °C para Tar e % para UR); “d” é o índice de ajustamento de Willmott. Nas regressões lineares “X” representa as mesmas variáveis obtidas na condição de pleno sol.

4. DISCUSSÃO

4.1. Dinâmica micrometeorológica de Tar e UR em pleno sol e nas condições de sombreamento

Na condição de pleno sol, os valores médios diários de Tar e UR foram iguais a 25,9 °C e 81,0% na estação chuvosa, e de 26,5 °C e 56,0% na estação seca (Figura 4B e 5B), nessa ordem. Resultados semelhantes foram registrados nessa mesma região entre julho/2015 a abril/2016 com valores médios de temperatura do ar de 26,8 °C e umidade relativa do ar de 79,3% na estação chuvosa e 58,2% na estação seca (SABINO et al., 2020). Os extremos de T_{máx} e T_{mín} registrados em pleno sol, no período experimental, ocorreram na estação seca, sendo: 40,1 °C às 14:00 h (agosto) e 9,7 °C entre 04:00 às 06:00 h (julho) (Figura 4A e 4C);

As maiores amplitudes térmicas e de variações de UR diárias em pleno sol ocorreram durante a estação seca (Figura 4A e 4C, Figura 5A e 5C). Esses valores corroboram com os resultados obtidos por Borella et al. (2020) e Monteiro et al. (2016) para essas mesmas condições ambientais, contudo, em diferentes períodos de avaliação. Nesse sentido, ocorreram pequenas variações de T_{máx} (Figura 4A) e UR_{mín} (Figura 5C) em julho, que por sua vez, são justificadas pela maior incidência da fração direta da radiação global na superfície terrestre e ausência de precipitações nesse período (Figura 3C e 3D) (SOUZA et al., 2016), que aumentam a temperatura do ar diurna, e consequentemente, a máxima no período de estiagem. Além disso, nesse mesmo mês também foram registrados os menores valores de T_{mín} (Figura 4C), decorrentes do deslocamento de massas de ar frias com grande intensidade, que atingem a região (friagens).

A dinâmica da Tar e UR depende principalmente do balanço de radiação, seguida das movimentações de massas de ar, nebulosidade, ventos e precipitações pluviáias (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017), além das configurações de uso e ocupação da superfície (SOUZA et al., 2017). Durante a estação chuvosa (verão), as amplitudes térmicas são menores e mais constantes, com amenização principalmente da temperatura máxima diária decorrente das oscilações das componentes direta e difusa da radiação global com a cobertura de céu (ZAMADEI et al., 2018). Nessa época do ano há maior concentração de nuvens e vapor d’água na atmosfera, que têm grande potencial de atenuar a radiação global (SOUZA et al., 2016).

Em contrapartida, na estação seca (inverno) ocorrem as maiores amplitudes térmicas diárias (Figura 4 e 5) em função da alta transmissividade atmosférica, baixa concentração de vapor d’água (SOUZA et al., 2016) e pela interação com as propriedades ótica dos aerossóis atmosféricos (PALÁCIOS et al., 2018). Essa dinâmica atmosférica gera grande variação dos níveis de calor latente na proximidade da superfície do solo, com ganhos energéticos durante o dia e perda de calor à noite pelo balanço de ondas longas, ou seja, elevação das temperaturas máximas e redução das temperaturas mínimas (BERGAMASCHI; BERGONCI, 2017).

A dinâmica micrometeorológica de Tar e UR foi semelhante entre as telas pretas e as telas coloridas. Na estação seca ocorreram maiores amplitudes térmicas, com significativa redução de T_{mín}. Foram registrados valores mínimos de 9,7 °C para a condição de pleno sol; 9,3 °C nas

telas preta e verde, 9,2; 9,4 e 9,1 °C nas telas termorefletora, vermelha e azul (Figura 6).

Holcman; Sentelhas (2012) estudaram o microclima de estufas com 70% de sombreamento, na estação chuvosa da região noroeste de São Paulo (22° 42' 40 " S e 47° 37 '30 "W, altitude de 546 m) e relataram que as variações internas da temperatura e umidade relativa do ar ocorreram em função da transmissividade da radiação solar medida em diferentes telas (preta, termorefletora, vermelha e azul); constataram ainda maior diferença da temperatura e umidade relativa do ar na tela azul.

A dinâmica da temperatura e umidade relativa do ar abaixo das telas de sombreamento, em níveis crescentes e espectrais da radiação solar, depende do balanço de radiação que ocorre dentro destes microambientes. Isso indica seletividade de comprimentos de onda transmitidos por cada tela, de modo que podem ter gerado amplitudes térmicas (calor sensível) maiores na tela azul quando comparadas com a condição de pleno sol (BORELLA et al., 2020).

Outro fator importante na dinâmica de Tar e UR está ligado à circulação de ar. Durante o dia, no ambiente natural "aberto" (pleno sol) ocorre movimentação e renovação das massas de ar de forma mais rápida, permitindo maior dissipação da energia (calor) e troca de umidade, resultando em temperatura e umidade relativa do ar mais baixas que no interior das telas de sombreamento. Nestas, por sua vez, os processos de convecção e advecção do ar atmosférico são limitados, resultando em menor troca de energia entre o ambiente externo e interno e maior armazenamento de energia, condicionando maiores temperatura e umidade nesses ambientes protegidos. Ahmed et al. (2019) constataram que em regiões áridas, a temperatura do ar é menor e a umidade relativa é maior no interior de estufas resfriadas por evaporação com relação ao ambiente externo.

A evolução diurna de Tar e UR são decorrentes da incidência da radiação solar próxima à superfície terrestre. Na condição de pleno sol, ocorreu um retardo de T_{máx}, sendo registrados maiores valores às 14:00 h, com defasagem de duas horas em relação ao pico máximo de radiação global ou saldo de radiação incidente. Sob as telas polifinas pretas e coloridas, ocorreu uma antecipação da T_{máx} diária e uma sincronização com o momento de maior incidência da radiação global (passagem meridional). Todavia, os valores de T_{máx} em algumas telas de sombreamento foram constantes entre 12:00 e 15:00 h, sendo que neste caso, a transmissividade e seletividade da radiação solar pelas telas podem ter influenciado nas flutuações diárias de Tar.

Essa dinâmica decorre do aquecimento da atmosfera próxima à superfície terrestre que acontece principalmente por transporte de calor sensível, o qual conduz a um aumento na temperatura interna e sua variação dentro da estufa (AHEMD et al., 2016). Ahmed et al. (2019) verificaram que as maiores variações de Tar e UR interna em ambientes sombreados, são geralmente observadas juntamente com um pico de radiação solar, por volta do meio-dia, confirmando o evidenciado no presente estudo.

Inúmeros fatores podem interferir no microclima de ambientes protegidos, como a latitude, altitude, época do ano, intensidade e ângulo de incidência da radiação solar, além da composição química, arranjo/arquitetura, envelhecimento e degradação do material de cobertura, formato, tamanho e posição da estrutura no campo (CHOAB et al., 2019). As propriedades ópticas da atmosfera (poeira,

aerossóis, gotículas de água) também desempenham papéis importantes nessa interferência (PALÁCIOS et al., 2018).

4.2. Estimativas diárias de Tar e UR em pleno sol e nas condições de sombreamento

Os valores dos indicadores estatísticos MBE e RMSE ficaram próximos de zero (0), indicando bom desempenho estatístico das regressões lineares geradas (calibradas), enquanto que o índice de Willmott, indicou um elevado grau de acurácia nas estimativas de Tar no interior das telas de sombreamento, independentemente da estação hídrica (valores de "d" superiores a 0,98) (Tabela 1).

Os coeficientes de determinação (R²) dos modelos de estimativas de UR (máxima, média e mínima) variaram de 70 a 85% e de 51 a 98% nas estações seca e chuvosa; 92 a 99% e 11 a 86% nas transições seca-chuvosa e chuvosa-seca, respectivamente (Tabela 1). Nesse caso, as regressões entre UR em telas e UR em pleno sol apresentam-se limitadas, indicando que outros fatores associados ao tipo de tela, construção e outros elementos meteorológicos (como ventos) apresentam grande influência na dinâmica de UR, e que podem não terem sido considerados apenas pela regressão linear. A velocidade do vento é determinante para as trocas convectivas, além disso a resistência aerodinâmica das coberturas testadas influencia nessas trocas, principalmente em condições mais úmidas (ALLEN et al., 1998).

Houve efeito da sazonalidade hídrica sobre os modelos de estimativas de Tar e UR no interior das telas polifinas pretas de sombreamento. No período chuvoso, ocorre maior variação nos níveis de radiação global diária decorrentes das flutuações de cobertura de céu por nuvens, resultando em variações na incidência das frações da radiação solar direta e difusa sobre a superfície terrestre (ZAMADEI et al., 2018), e conseqüentemente, refletem nas oscilações de Tar e UR tanto em pleno sol quanto nos ambientes protegidos. Essa grande variabilidade de condições energéticas na estação chuvosa e chuvosa-seca permite maior faixa de variação de valores de Tar e UR, e por sua vez, geram coeficientes lineares e angulares com melhores ajustes às condições locais, principalmente para Tar, ou seja, a concentração de valores muitos próximos da variável independente, reduz a faixa de aplicação da regressão linear ajustada.

Pelos valores de MBE, para UR, foram obtidas variações de -0,83 a 0,77% na estação seca; -0,07 a 1,05% na seca-chuva; 0,14 a 1,64% na chuvosa; e -3,30 a 0,04% na chuvosa-seca. As maiores subestimativas ocorreram na transição chuva-seca em todos os microambientes, e mais expressivamente nas estimativas de UR_{mín} (-2,34 a -3,30 %), conseqüentemente, houve maior espalhamento (RMSE) nessas mesmas condições (de 4,77 a 6,25 %). Nas demais estações hídricas foram observadas menores espalhamentos, indicando que as estimativas são melhores para condições mais secas (Tabela 1).

Apesar disso, os resultados foram satisfatórios, com índice de ajuste dos modelos "d" oscilando entre 0,96 para regressões de estimativas de UR na transição chuva-seca, e de 0,99 para as demais estimativas e estações hídricas do ano (Tabela 1). Foram obtidas regressões lineares crescentes entre os valores observados e estimados de Tar e UR no interior das telas, independentemente do percentual de sombreamento e da cor da tela. Foram obtidos coeficientes lineares negativos apenas para T_{mín}, UR_{mín} e T_{máx}, com exceção da estação chuvosa e chuvosa-seca. Não foram

observados padrões de crescimento ou de decréscimo de coeficientes lineares e/ou angulares com o aumento do nível de sombreamento das telas pretas.

Para as telas coloridas (Tabela 2), os coeficientes de determinação (R^2) das regressões ajustadas foram superiores a 72 e 88% para Tar e UR, respectivamente. A maioria dessas equações subestimaram Tar e UR (vide MBE), todavia, ficaram bem próximos de zero (-0,26 a 0,36 °C e -0,58 a 0,32%, respectivamente). Os espalhamentos (RMSE) oscilaram de 0,44 a 1,26 °C e 1,22 a 2,30% (Tabela 2), sendo que os índices de Willmott (d) foram superiores a 0,99, denotando boas estimativas para aplicações futuras das equações calibradas em preenchimento de falhas e análises ecofisiológicas, na estação seca da região.

5. CONCLUSÕES

A dinâmica diária da temperatura e umidade relativa do ar no interior de telas de sombreamento é dependente da sazonalidade hídrica de cada região e apresenta dinâmica semelhante à condição ambiente (pleno sol), ao longo do ano.

O sombreamento proporciona maior uniformidade dos valores de Tar e UR quando comparado com o pleno sol.

A utilização de equações estatísticas para estimativas de Tar e UR em ambientes sombreados (viveiros agroflorestais) mostra-se como uma boa opção, quando baseada em medidas de pleno sol (estações meteorológicas automáticas e/ou convencionais), independentemente da época do ano, na região de transição Cerrado-Amazônia brasileira.

A utilização de telas de sombreamento em viveiros agrícolas e florestais é dependente da relação custo-benefício das telas, da disponibilidade hídrica regional e das respostas ecofisiológicas de diferentes espécies, sendo, portanto, de responsabilidade do usuário a escolha da tela de sombreamento.

6. AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) pelo Código de Financiamento - 001. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio com as bolsas de iniciação científica e bolsa produtividade (Processo 308784/2019-7).

7. REFERÊNCIAS

AHEMED, H. A.; AL-FARAJ, A. A.; ABDEL-GHANY, A. M. Shading greenhouses to improve the microclimate, energy and water saving in hot regions: A review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 201, p. 36-45, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2016.01.030>

AHMED, H. A.; YU-XIN, T.; QI-CHANG, Y.; AL-FARAJ, A. A.; ABDEL-GHANY, A. M. Spatial distribution of air temperature and relative humidity in the greenhouse as affected by external shading in arid climates. **Journal of Integrative Agriculture**, Amsterdam, v. 18, n. 12, p. 2869–2882, 2019. DOI: 10.1016/S2095-3119(19)62598-0.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Food and Agriculture Organization of the United Nations – FAO Irrigation and Drainage Paper, Rome, Italy, 1998. 300p.

BALFAGÓN, D.; SENGUPTA, S.; GÓMEZ-CADENAS, A.; FRITSCHI, F.B.; AZAD, R.K.; MITTLER, R.; ZANDALINAS, S.I. Jasmonic Acid Is Required for Plant Acclimation to a Combination of High Light and Heat Stress. **Plant Physiology**. Rockville - USA, v. 181, n. 4, p. 1668-1682, 2019. DOI: 10.1104/pp.19.00956

BERGAMASCHI, H.; BERGONCI, J. I. **As plantas e o clima: princípios e aplicações**. Guaíba: Agrolivros, 2017. 352p.

BORELLA, D. R.; SOUZA, A. P. de; SILVA, A. C. da; FELIPE, R. T. A.; SILVA, K. N. C.; SOUZA, J. H. G. DE. Thermal requirements and filocron of *Dipteryx alata* under shading levels in the Cerrado Amazon transition. **Scientia Plena**, Aracajú, v. 16, n. 5, p. 1-15, 2020. DOI: 10.14808/sci.plena.2020.051702

BORELLA, D. R.; SOUZA, A. P. de; SILVA, A. C. da; PIZZATTO, M.; KEFFER, J. F.; LIMA, D. C. Water requirements of *Dipteryx alata* Vogel Seedlings at different solar radiation levels in Cerrado-Amazon transition. **Tropical and Subtropical Agroecosystems**, Yucatan, v. 23, n. 2, p. 1-13, 2020.

COSTA, E.; SANTO, T. L. E.; BATISTA, T. B.; CURI, T. M. R. C. Diferentes tipos de ambiente protegido e substratos na produção de pimenteiras. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 3, p. 458-466, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-053620170324>

CHOAB, N.; ALLOUHIB, A.; EL MAAKOULC, A.; KOUSKSOUND, T.; SAADEDDINEA, S.; JAMIL, A. Review on greenhouse microclimate and application: Design parameters, thermal modeling and simulation, climate controlling technologies. **Solar Energy**, Kidlington, v. 191, p. 109-137, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.042>

GRAY, S. B.; BRADY, S. M. Plant developmental responses to climate change. **Developmental Biology**, San Diego, v. 419, p. 64-77, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ydbio.2016.07.023>

HATFIELD, J. L.; PRUEGER, J. H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. **Weather and Climate Extremes**, Amsterdam, v. 10, p. 4-10, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>

HOLCMAN, E.; SENTELHAS, P. C. Microclimate under different shading screens in greenhouses cultivated with bromeliads. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 8, p. 858-863, 2012.

MARTIM, C. C.; ZAMADEI, T.; SOUZA, A. P. de; ALMEIDA, F. T. de; ZOLIN, C. A. Angström-PreScott coefficients and reference evapotranspiration in the Cerrado-Amazon transition region of Mato Grosso. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 26, p. 579-594, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v26i0>

MONTEIRO, E. B.; SILVA, A. C. da; SOUZA, A. P. de; TANAKA, A. A.; FERNEDA, B. G.; MARTIM, C. C. Water requirements and crop coefficients of tropical forest seedlings in different shading conditions. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 20, n. 8, p. 709-715, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n8p709-715>

PALÁCIOS, R. S.; SALLO, F. da S.; MARQUES, J. B.; SANTOS, A. C. A.; MENEZES, J. A.; BIUDES, M. S.; NOGUEIRA, J. de S. Spatiotemporal variability of the

- optical depth of aerosols in areas of the savannah and of the Pantanal in the central region of Brazil. **Nativa**, Sinop, v. 6, n. 1, p. 56-65, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v6i1.5153>
- SABINO, M.; FERNEDA, B. G.; MARTIM, C. C.; BOUVIÉ, L.; SILVA, C. C. da; SOUZA, A. P. de; SILVA, A. C. da; FELIPE, R. T. A. Initial growth of amazonian and brazilian Cerrado yellow ipe cultivated under different shading intensities and spectral wavelength. **Interciência**, Caracas, v. 45, n. 4, p. 183-191, 2020.
- SANTOS, R. B.; SOUZA, A. P. de; SILVA, A. C. da; ALMEIDA, F. T. de; ARANTES, K. R.; SIQUEIRA, J. L. de. Planejamento da pulverização de fungicidas em função das variáveis meteorológicas na região de Sinop – MT. **Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 6, n. 1, p. 72-88, 2013.
- SOUZA, A. P. de; MOTA, L. L. da; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T. de; PAULINO, J. Climate classification and climatic water balance in Mato Grosso state, Brazil. **Nativa**, Sinop, v. 1, n. 1, p. 34-43, 2013. DOI: <https://doi.org/10.31413/nativa.v1i1.1334>
- SOUZA, A. P. de; ZAMADEI, T.; MONTEIRO, E. B.; CASAVECCHIA, B. H. Atmospheric Transmissivity of the Global Radiation in the Amazonic Region of Mato Grosso. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v. 31, n. 4 (suppl.), p. 639-648, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786312314b20150147>
- SOUZA, A. P. de; SILVA, A. C. da; TANAKA, A. A.; ULIANA, E. M.; ALMEIDA, F. T. de; KLAR, A. E.; GOMES, A. W. A. Global radiation by simplified models for the state of Mato Grosso, Brazil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 4, p. 215-227, 2017. DOI: 10.1590/S0100-204X2017000400001
- TEITEL, M. The effect of screened openings on greenhouse microclimate. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 143, p. 159-175, 2007. DOI: 10.1016/j.agrformet.2007.01.005
- ZAMADEI, T.; SOUZA, A. P. de; ESCOBEDO, J. F.; ALMEIDA, F. T. de. Estimation of daily diffuse radiation based on atmospheric transmissivity and insolation ratio in the Cerrado-Amazon transition. **Revista Brasileira de Climatologia**, Curitiba, v. 23, p. 134-151, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v23i0>