

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE AGRONOMIA E MEDICINA VETERINÁRIA
CURSO DE AGRONOMIA**

**POTENCIAL DO SOMBREAMENTO NATURAL DE ÁRVORES
NATIVAS DO CERRADO PARA O CONFORTO TÉRMICO ANIMAL E
O SEQUESTRO DE CARBONO**

BRUNO EMANOEL TEIXEIRA

**BRASÍLIA, DF
2023**

BRUNO EMANOEL TEIXEIRA

**POTENCIAL DO SOMBREAMENTO NATURAL POR ÁRVORES NATIVAS DO
CERRADO PARA O CONFORTO TÉRMICO ANIMAL E O SEQUESTRO DE
CARBONO**

Monografia apresentada à Faculdade de Agronomia e
Medicina Veterinária da Universidade de Brasília,
como parte das exigências do curso de Graduação em
Agronomia, para a obtenção do título de Engenheiro
Agrônomo.

Orientadora:
PROF^a. DR^a. SELMA REGINA MAGGIOTTO

**BRASÍLIA, DF
2023**

FICHA CATALOGRÁFICA

Ficha catalográfica elaborada automaticamente,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Teixeira, Bruno Emanoel
Tp POTENCIAL DO SOMBREAMENTO NATURAL POR ÁRVORES NATIVAS DO
CERRADO PARA O CONFORTO TÉRMICO ANIMAL E O SEQUESTRO DE
CARBONO / Bruno Emanoel Teixeira; orientador Selma Regina
Maggiotto. -- Brasília, 2023.
64 p.

Monografia (Graduação - Agronomia) -- Universidade de
Brasília, 2023.

1. Sistemas Agroflorestais. 2. Carga térmica radiante.
3. Mitigação do estresse térmico. 4. Conforto térmico. 5.
Bem-estar animal. I. Maggiotto, Selma Regina, orient. II.
Título.

Cessão de direitos

Nome do Autor: Bruno Emanoel Teixeira

Título: Potencial do sombreamento natural de árvores nativas do cerrado para o conforto térmico animal e o sequestro de carbono

Ano: 2023

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desse relatório e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva - se a outros direitos de publicação, e nenhuma parte desse relatório pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

BRUNO EMANOEL TEIXEIRA

**POTENCIAL DO SOMBREAMENTO NATURAL POR ÁRVORES
NATIVAS DO CERRADO PARA O CONFORTO TÉRMICO ANIMAL E
O SEQUESTRO DE CARBONO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília, como parte das exigências do curso de Graduação em Agronomia, para obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Aprovado em 20 de julho de 2023.

COMISSÃO EXAMINADORA

Profª Drª. Selma Regina Maggiotto
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília
Orientadora

Profª Drª. Sheila Tavares Nascimento
Departamento de Zootecnia – Universidade Estadual de Maringá
Examinadora

Profª Drª. Alessandra Monteiro de Paula
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária – Universidade de Brasília
Examinadora

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Deus, meus pais Marcos R. Teixeira e Lucélia R. S. Teixeira, ao meu irmão Pedro V. Teixeira, aos meus avós, em especial ao meu avô Lúcio R. da Silva e minha companheira de vida Sophia Machado, com amor.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, minha gratidão à Deus pelo infinito amor em cada passo, decisão, oportunidade, pessoas e pela vida concedida a mim. Aos meus pais Marcos R. Teixeira e Lucélia R. S. Teixeira, por todo amor, paciência e pela criação. Ao meu querido irmão Pedro Vitor Teixeira, por toda companhia, carinho, amor e paciência.

Aos meus avós, Lúcio Rosa da Silva, Luzia Rodrigues da Silva, Jovenito Elias Teixeira e Luzia Elias Teixeira, por me ensinarem tanto e pelo grande amor e apoio em cada etapa desta vida.

À Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade de Brasília pela oportunidade concedida para realização do sonho de cursar Agronomia, e com ele os grandes amigos que fiz, principalmente Thiago Estácio da Costa, Jhon Kennedy dos Santos, Bruno Santos da Conceição, Bárbara M. Passos, Evandro Menezes e João Victor Mós por todo apoio e amizade fornecidos dentro e fora da universidade.

Aos professores e grandes mentores, principalmente Sheila T. Nascimento, minha querida amiga e mentora, pela confiança e oportunidade de conduzir este trabalho, pelos conhecimentos, conselhos de vida e apoios. Sou muito grato pela oportunidade e honra de trabalhar ao seu lado. À Profa. Luci S. Murata por ter me guiado durante projetos de extensão e de iniciação científica. Ao Prof. Marcelo Fagioli por sempre se dispor e me auxiliar na busca de estágios e solução de problemas ao longo da graduação, e ao Prof. Ricardo Carmona pelas oportunidades oferecidas desde o começo da graduação e conhecimentos compartilhados.

À minha querida professora e orientadora Selma R. Maggiotto a quem devo muitos incentivos durante o curso e ensinamentos, aprendizados e instruções que não somente se restringem às questões técnicas da grande área de agronomia, mas também sobre a vida. À oportunidade e honra de tê-la como orientadora deste trabalho.

À minha companheira nesta trajetória, a quem devo muito, por toda força, amor e fé em mim. Por não desistir de apoiar e me incentivar, e por vibrar junto a mim em cada pequena conquista, minha querida Sophia Machado Ferreira da Silva e sua família.

Por fim, à todas as pessoas que me auxiliaram nesta fase e processo de formação, possuo grande amor, carinho e gratidão por todos, carrego cada um em meu coração.

*“Uma sociedade cresce bem quando
homens velhos plantam árvores cuja sombra
eles sabem que nunca poderão se sentar.”*

- Provérbio Grego

*“Prepara-se o cavalo para o dia da
batalha, mas o Senhor é que dá a vitória.”*

- Provérbios 21:31

RESUMO

POTENCIAL DO SOMBREAMENTO NATURAL POR ÁRVORES NATIVAS DO CERRADO PARA O CONFORTO TÉRMICO ANIMAL E O SEQUESTRO DE CARBONO

Este estudo analisou o potencial de conforto térmico pelo sombreamento fornecido aos animais por quatro diferentes árvores nativas do cerrado brasileiro, bem como seu potencial de sequestro de carbono. As avaliações foram realizadas durante o verão de 2020, que consistiram na coleta de variáveis microclimáticas. A Temperatura Radiante Média (TRM, °C) foi calculada nas áreas sombreadas e não sombreadas sob as árvores e, a partir disso, a Carga Térmica Radiante (CTR, $W m^{-2}$) foi calculada como um índice de conforto térmico. A radiação solar foi estimada considerando a soma de suas componentes direta, difusa e refletida ($W m^{-2}$), e o estoque de carbono da biomassa das árvores para o sequestro de CO_2 foi estimado a partir de um modelo alométrico aplicado às espécies arbóreas nativas do Cerrado. A sombra das árvores nativas reduziu as variáveis meteorológicas, como temperatura de bulbo seco e de globo negro a valores considerados adequados para o conforto térmico dos animais, com redução média igual a 1,3 °C e 6,4 °C, respectivamente. Isso representa uma diferença significativa em relação à área não sombreada, bem como entre as espécies arbóreas ($P < 0,05$), refletindo em menores valores de TRM e CTR na área sombreada fornecida por cada espécie. O sequestro de carbono estimado individualmente para cada espécie de árvore nativa foi em média 8,85 Mg ind⁻¹ por árvore. Esses resultados demonstram o grande potencial das espécies arbóreas nativas do bioma Cerrado serem utilizadas em sistemas agroflorestais para proporcionar maiores níveis de conforto térmico aos animais e combater as mudanças climáticas por meio de sua capacidade de sequestro de CO_2 .

Palavras-chave: Sistemas agroflorestais; Carga térmica radiante; Mitigação do estresse térmico.

ABSTRACT

THE POTENTIAL OF NATURAL SHADE PROVIDED BY BRAZILIAN SAVANNA TREES FOR THERMAL COMFORT AND CARBON SINK

This study looked at the potential of thermal comfort provided to animals by four different Brazilian savanna (Cerrado) native trees, as well as their potential for carbon sink. The evaluations were carried out during the summer of 2020, which consisted of the collection of microclimate variables. The Mean Radiant Temperature (TMR, °C) was derived from the shaded and unshaded areas under the trees, and from that, the Radiant Heat Load (RHL, $W m^{-2}$) was calculated as an index of thermal comfort. Solar radiation was estimated considering the sum of the direct, diffuse, and reflected components ($W m^{-2}$), and carbon stock from trees biomass for CO₂ sequestration was estimated from an allometric model applied to the native Cerrado tree species. The shade of the native trees reduced the meteorological variables such as dry bulb and black globe temperatures, to values considered adequate for the thermal comfort of animals, with an average reduction respectively equal to 1.3 °C and 6.4 °C. This represents a significant difference compared to the unshaded area as well as among tree species ($P < 0.05$), reflecting in lower values of TMR and RHL in the shaded area provided by each species. Carbon sequestration individually estimated by each native tree species was on average 8.85 Mg per tree. These results demonstrate the great potential for native tree species in the Cerrado biome to be used in agroforestry systems to provide higher levels of thermal comfort to animals and to combat climate change through their aptitude of CO₂ sink.

Keywords: Agroforestry; Radiant heat load; Heat alleviation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração dos mecanismos sensíveis e latentes de transferência de calor em um sistema agroflorestal. Fonte: autoral.	19
Figura 2 – Área do estudo: a) fotografia aérea de satélite (imagem do Google Earth®), b) desenho esquemático mostrando o desenho radial do setor e localização das espécies arbóreas do cerrado espalhadas nos piquetes da (UDCAL, Fazenda Água Limpa da UnB, DF, centro-oeste brasileiro).....	21
Figura 3 – Mensurações da altura estimada da árvore (A) e raio da copa horizontal das árvores nativas (B), imagem da espécie <i>C. brasiliense</i>	25
Figura 4 - Árvores nativas do Cerrado brasileiro a <i>Caryocar brasiliense</i> Camb. (A), <i>Solanum lycocarpum</i> St.-Hil. (B), <i>Vochysia thyrsoidea</i> Pohl. (C) e <i>Pterodon emarginatus</i> Vog. (D), na Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre - UDCAL/UnB.	25
Figura 5 - Termômetro de globo negro utilizado para as coletas das variáveis meteorológicas do microclima sombreado pelas árvores nativas na Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre - UDCAL/UnB.	26
Figura 6 – Esquema representativo da posição do sombreado das espécies arbóreas pelo software SketchUp®, (A) às 9h30min, (B) às 12h00min e (C) às 13h30min nos piquetes da Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre (UDCAL/FAL-UnB).	26
Figura 7 – Médias da radiação de ondas curtas (RS, $W m^{-2}$) em função dos horários do dia das 9 às 16h.	29
Figura 8 – Médias da temperatura do ar Tar, °C (A) e umidade relativa do ar UR, % (B) por cada espécie arbórea (<i>V. thyrsoidea</i> , <i>C. brasiliense</i> , <i>S. lycocarpum</i> , <i>P. emarginatus</i> e local sem sombra), ao longo do dia horas, das 8h30 às 16h00.	30
Figura 9 – Médias da temperatura do solo exposto ao sol (°C) e do solo sombreado (°C) por espécie de árvores nativas (<i>V. thyrsoidea</i> , <i>S. lycocarpum</i> , <i>P. emarginatus</i> e <i>C. brasiliense</i>), em função da hora do dia.	32
Figura 10 – Temperaturas das superfícies adaxial e abaxial da folha ao longo do dia em comparação com a média de Tar das espécies arbóreas nativas: (a) <i>C. brasiliense</i> , (b) <i>S. lycocarpum</i> , (c) <i>P. emarginatus</i> and (d) <i>V. thyrsoidea</i>	33
Figura 11 – Médias da Carga térmica radiante (CTR, $W m^{-2}$) e da Temperatura radiante média (TRM, °C) em locais com exposição ao sol e em áreas sombreadas por cada espécie de árvores (<i>C. brasiliense</i> , <i>V. thyrsoidea</i> , <i>P. emarginatus</i> , <i>S. lycocarpum</i>) em função dos horários do dia das 9 às 16h.....	33
Figura 12 – Médias dos valores previstos de área de sombra provida por cada espécie arbórea nativa (<i>V. thyrsoidea</i> , <i>S. lycocarpum</i> , <i>P. emarginatus</i> e <i>C. brasiliense</i>) às 12h ao longo dos meses do ano, com a consideração da fenologia foliar.....	35

Figura 13 – Estoque de carbono (Mg ind^{-1}) e o sequestro de carbono (Mg ind^{-1}) estimados para cada espécie de árvore do estudo, de acordo com os dados coletados na (*Fazenda Água Limpa* da UnB, DF).

..... 36

Figura 14 – Ilustração das espécies arbóreas nativas do Cerrado (*V. thyrsoidea*; *P. emarginatus*; *C. brasiliense*; *S. lycocarpum*) avaliadas neste estudo na UDCAL/FAL/UnB, com destaque a seus formatos de copa e morfologia foliar. 39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sumário da metodologia	23
Tabela 2 – Parâmetros físicos avaliados em quatro espécies nativas de árvores do Cerrado, <i>C. brasiliense</i> , <i>V. thyrsoidea</i> , <i>P. emarginatus</i> e <i>S. lycocarpum</i>	24
Tabela 3 – Biomassa total, estoque de carbono e CO ₂ sequestrado por estudo de cada espécie de árvore (Mg ind ⁻¹).	35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivos gerais	14
2.2 Objetivos específicos	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
3.1 Mudanças climáticas e o aquecimento global	15
3.2 Sistemas agroflorestais.....	16
3.3 Bioma Cerrado.....	17
3.4 Bem-estar e conforto térmico.....	17
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1 Local de condução do experimento	21
4.2 Dados das espécies arbóreas	22
4.3 Dados do microclima e conforto térmico	25
4.4 Estimativa do sequestro de CO ₂	27
4.5 Análise estatística.....	28
5. RESULTADOS	29
5.1 Variáveis meteorológicas e microclimáticas.....	29
5.2 Temperaturas da superfície do solo e foliar	31
5.3 Índices de conforto térmico	32
5.4 Área sombreada	34
5.5 Sequestro de carbono	34
6. DISCUSSÃO.....	37
6.1 Ajuste do microclima e área sombreada.....	37
6.2 Condições de conforto térmico	41
6.3 Sequestro de carbono	42

7 CONCLUSÕES	44
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45
APÊNDICE	52

1 INTRODUÇÃO

O aquecimento global é uma das questões mais preocupantes atualmente, que se dá pelo aumento na emissão de gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera (IPCC, 2014), que eleva a temperatura média global e leva a consequências danosas às atividades agropecuárias e alterações sobre os ecossistemas, como o Cerrado, um bioma de savana que vem perdendo espaço pela agricultura e a pecuária, e é sensível às alterações climáticas (BURRELL *et al.*, 2020).

Essas questões aumentam a necessidade de mais pesquisas a fim de desenvolver estratégias para combater o aquecimento global e melhorar de forma sustentável o manejo da agropecuária e dos ecossistemas, como a agrofloresta. Dessa forma, estudos como os de Karvate *et al.* (2016) e Mós *et al.* (2020), trazem estratégias e resultados promissores no uso de sistemas agroflorestais, na avaliação do potencial de sombreamento natural por espécies arbóreas nativas do Cerrado e o conforto térmico proporcionado aos animais.

No entanto, há um desconhecimento de como os diversos parâmetros fisiológicos dessas árvores nativas também podem contribuir para a adequação do microclima quando incorporadas a sistemas de produção pecuária em pastagens. Alguns desses parâmetros incluem a temperatura da folha, o efeito da biodiversidade de espécies de diferentes aspectos morfológicos, como o tamanho da área sombreada, bem como o sequestro de carbono, que tem potencial para ser usado como ferramenta para mitigar os efeitos do aquecimento global e melhorar a sustentabilidade.

Portanto, este trabalho visa explorar o potencial de diferentes espécies arbóreas nativas do Cerrado para melhorar o conforto térmico dos animais por meio da sombra, bem como explorar os parâmetros fisiológicos e a aptidão para o sequestro de carbono dessas espécies arbóreas, na esperança de contribuir para uma maior compreensão e conhecimento sobre implantação e preservação de sistemas agroflorestais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Este trabalho visa estudar o potencial de diferentes espécies arbóreas nativas do Cerrado para melhorar o conforto térmico dos animais por meio da oferta de sombra, bem como explorar os parâmetros fisiológicos e a aptidão para o sequestro de carbono dessas espécies.

2.2 Objetivos específicos

O objetivo deste estudo é compreender o potencial do conforto térmico proporcionado pelo sombreamento de quatro espécies arbóreas do Cerrado e para o sequestro de carbono, a partir da coleta de variáveis microclimáticas oriundas da sombra, como temperatura do ar (T_{ar} , °C), temperatura de bulbo úmido (T_{bu} , °C), temperatura de globo negro (T_{gn} , °C), temperatura do solo sombreado, umidade relativa e radiação solar de ondas curtas, índices de conforto térmico, bem como estimar o sequestro de carbono por meio de parâmetros físicos das árvores, como diâmetro à altura do peito (DAP).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Mudanças climáticas e o aquecimento global

O aquecimento global é uma das questões mais preocupantes, tanto do ponto de vista atual quanto futuro. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) informou que, devido a um aumento na concentração de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases do efeito estufa (GEE) na atmosfera, a temperatura média global provavelmente aumentará em 2 °C a 4 °C, dependendo das taxas de emissão. Isso tem o potencial de mudar os padrões climáticos globais e ter vários efeitos sobre o meio ambiente, como causar a degradação e desertificação dos ecossistemas de ambientes áridos, o que afetará a biodiversidade junto com milhões de pessoas que vivem nesses ecossistemas.

O IPCC relatou evidências da influência das atividades humanas nas mudanças climáticas, quantificadas com relação ao maior número de eventos climáticos e seus danos e impactos aos ambientes (IPCC, 2021). Isto ocorre por modificações da química e consequentemente das características da atmosfera, por meio da liberação de partículas e de gases do efeito estufa (GEE), principalmente pelo dióxido de carbono (CO₂), que teve sua concentração elevada desde o início da industrialização em 43% (NOAA, 2019).

Vale destacar que as mudanças climáticas estão ocorrendo principalmente nos países em desenvolvimento, onde a economia é altamente dependente das atividades agropecuárias, e o desmatamento é feito de forma indiscriminada (BURRELL *et al.*, 2020).

Como consequências, as mudanças climáticas causam uma alteração na ecologia de animais e plantas, bem como uma perda na biodiversidade, como observado em biomas de savana, como o Cerrado brasileiro, onde os efeitos do aquecimento global estão aumentando drasticamente o número de incêndios florestais (JOLLY *et al.*, 2015; LETCHER, 2019; SCHEFFERS *et al.*, 2016).

Além disso, o aquecimento global têm levado a maior frequência, intensidade e maiores períodos de estiagem e inundações, o que leva a implicações diretas e indiretas para o futuro das atividades agropecuárias, como escassez de água, consequentemente baixas produtividades agrícolas, e efeitos diretos à produção de animais devido ao estresse térmico, aumento na mortalidade, e efeitos indiretos como a necessidade de um consumo mais elevado de água e energia para a manutenção dos ambientes de produção (NAOREM; MACHIWAL, 2023).

Assim como seus efeitos sobre os ecossistemas áridos, que podem passar pelo processo de desertificação e ameaçar a segurança alimentar e a economia de países que possuem alta dependência das atividades agropecuárias, como o bioma Cerrado (BURRELL *et al.*, 2020; HOFMANN *et al.*, 2021).

3.2 Sistemas agroflorestais

A agrofloresta é o método integrado de uso sustentável da terra devido aos seus benefícios econômicos e ambientais.

Este sistema permite a produção de culturas anuais como soja, milho, além de animais de produção sob pastagem e árvores em um local que pode contribuir com o armazenamento de carbono no solo. Como mitiga a emissão de carbono através do sequestro pelo componente arbóreo de acordo com a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), cerca de 1 bilhão de hectares agricultáveis ao redor do mundo já implementou sistemas agroflorestais (FAO, 2018; RAJ *et al.*, 2020).

A implantação de sistemas agroflorestais é uma das maiores estratégias para mitigar os efeitos das mudanças climáticas. Alguns sistemas, que atuam com o reflorestamento de pastagens e a recuperação de terras degradadas, atuam como ferramentas agrícolas inteligentes para melhorar o sequestro e o armazenamento de carbono na biomassa das árvores. Conforme o Acordo de Paris, essa estratégia é uma alternativa para remover o carbono atmosférico, limitando assim o aquecimento global a não maior do 1,5 °C (UNFCCC, 2015; LIPPER *et al.*, 2014).

Assim a implementação de sistemas agroflorestais é necessária para combater a desertificação e a erosão do solo, melhorar a segurança alimentar com produtos florestais não madeireiros (PFNMs), como frutas e animais de produção, e gerar energia renovável a partir de produtos madeireiros, como biocombustíveis (RAJ *et al.*, 2020 ; MOSQUERA-LOSADA *et al.*, 2011).

Esses sistemas têm sido adotados nos trópicos devido à grande diversidade de espécies arbóreas nativas (RAJ *et al.*, 2020). Além disso, por sua capacidade de adaptação ao microclima, essas árvores nativas também podem auxiliar na mitigação dos efeitos do aquecimento global e do sequestro de carbono, principalmente em climas tropicais e biomas onde essas atividades são amplamente desenvolvidas, como o Cerrado.

3.3 Bioma Cerrado

A influência antrópica sobre o clima não se restringe somente à emissão de GEEs, pois a supressão e alteração de biomas e a sua vegetação nativa também geram impactos negativos (HOFMANN *et al.*, 2021). Existem biomas e ecossistemas que apresentam maior sensibilidade às mudanças climáticas por ações antrópicas, principalmente os ambientes áridos, em que por fatores como mudanças na disponibilidade hídrica, aumento de temperaturas, e insustentabilidade do uso de terras por meio de áreas de pastagem mal manejadas, agricultura e a desflorestamento.

O Cerrado é o bioma de savana mais rico em termos de biodiversidade, com várias espécies endêmicas de vertebrados e plantas. Representa cerca de 21% do território brasileiro e está muito sujeito às atividades agrícolas e à expansão da pecuária (SANO *et al.*, 2019). Entre 2006 e 2012, esta região sofreu uma perda de área estimada em cerca de 24%, o que, conjugado com um elevado número de incêndios florestais, levou a alterações na dinâmica ecossistêmica da região (DIAS *et al.*, 2016; STRASSBURG *et al.*, 2017).

Deste modo, o Cerrado é caracterizado por possuir em sua maior parte uma vegetação com gramíneas, arbustos e espécies arbóreas que possuem troncos contorcidos e com cascas robustas e tolerantes ao fogo, além de folhas coriáceas, isto decorre da evolução dessas espécies e sua coexistência com incêndios devido à estação da seca enfrentado em diferentes fitofisionomias do bioma, além de possuírem adaptações à cenários desafiadores das mudanças climáticas, como uso eficiente do dióxido de carbono (FRANK-DE-CARVALHO *et al.*, 2015; SOUZA *et al.*, 2016).

3.4 Bem-estar e conforto térmico

O bem-estar animal está entre as principais preocupações crescentes da população atualmente, que exige boas condições de vida dos animais de produção em diferentes sistemas em que são produzidos e além de tudo, a sustentabilidade destes sistemas de produção e a ética dos métodos de produção (BROOM, 2010; KNIGHT *et al.*, 2022).

A Organização Mundial da Saúde Animal (OIE) define o bem-estar animal como o estado físico e mental de um animal em relação às condições em que vive e morre, que o experimenta se estiver saudável, confortável, bem nutrido, seguro, não sofrer de estados desagradáveis como

dor, medo e angústia e for capaz de expressar comportamentos naturais que são importantes para o seu estado físico e mental (OIE, 2022).

Neste sentido, o estado de conforto térmico está diretamente atrelado ao bem-estar animal, visto que animais homeotérmicos (que são capazes de manter sua temperatura corporal relativamente constante frente a flutuações ambientais) em condições de estresse térmico, ativam mecanismos de termorregulação que responde a condições ambientais como calor e o frio, e pode acarretar gastos significativos de energia pelos indivíduos para manter a homeostase que afetam negativamente a saúde e bem-estar, que por sua vez compromete a produtividade e qualidade de seus produtos (COLLIER; GEBREMEDHIN, 2015; MOTA-ROJAS *et al.*, 2021).

Esses processos incluem uma série de ajustes circulatórios, fisiológicos, comportamentais e metabólicos para conseguir a perda ou retenção de calor para o alcance do conforto térmico, definido em termos de percepção e estado que expressa satisfação com as condições térmicas do ambiente (KINGMA *et al.*, 2014). Para isto, são ativados mecanismos de transferência de calor sejam eles latentes ou sensíveis. Os mecanismos sensíveis são baseados no gradiente de temperatura, quando a temperatura do animal é maior que a do ambiente o animal perde calor, e vice versa (COLLIER; GEBREMEDHIN, 2015).

Esta transferência de calor ocorre de três formas principais: condução (ocorre pelo contato direto de duas superfícies, em que o calor é trocado da temperatura mais alta para a temperatura mais baixa, a convecção (pode ser natural, quando a diferença de temperatura na camada limítrofe de ar que envolve o animal causa um movimento do ar em resposta a mudanças na densidade do ar causadas pela diferença de temperatura, ou forçada que ocorre quando a diferença de pressão externa faz com que o ar passe pelo animal) e a radiação (cada superfície emite energia em comprimentos de onda que depende da temperatura da superfície emissora (DA SILVA; MAIA, 2013).

Várias fontes de radiação térmica no entorno de um animal podem ser mencionadas, por exemplo, o sol, céu, solo, paredes e telhado, que se diferem entre radiação de ondas longas e ondas curtas) (COLLIER; GEBREMEDHIN, 2015). Os mecanismos latentes ou evaporativos, são baseados na sudação (aos que possuem glândulas sudoríparas) e a ofegação dos animais sob estresse térmico conforme a ilustra a (Figura 1). Alguns animais como os bovinos e equinos possuem glândulas sudoríparas que são ativadas conforme a condição de estresse térmico, no

entanto as aves possuem sua perda de calor latente primária com base na ofegação (YAHAV, 2015).

A desvantagem dos meios latentes para busca do equilíbrio térmico é a perda de energia para vaporização da água que conseqüentemente afeta na produtividade dos animais de interesse zootécnico (BROWN-BRANDL, 2018).

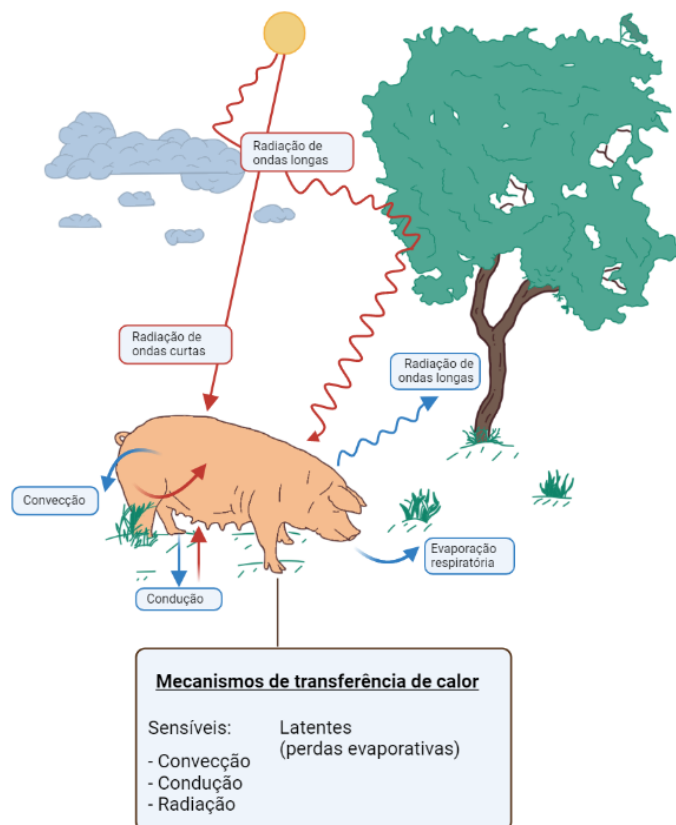


Figura 1 – Ilustração dos mecanismos sensíveis e latentes de transferência de calor em um sistema agroflorestral. Fonte: autoral.

Sob condições de estresse térmico, comportamentos como a procura por sombreamento, natural como árvores, ou artificial, com base em telas de sombreamento ou diferentes estruturas de telhado, alterar a orientação corporal em relação ao sol e aumento do consumo de água são indicativos do estresse e representam a necessidade de prover estratégias para elevar o conforto térmico aos animais, principalmente em ambientes tropicais (DA SILVA; MAIA, 2013; MÓS *et al.* 2020).

Estudos no Cerrado foram realizados por Karvatte *et al.* (2016), Karvatte Jr. *et al.* (2020), Oliveira *et al.* (2018), Barreto *et al.* (2020), e Mós *et al.* (2020) usando sistemas agroflorestais para avaliar o microclima de sombra de árvores em relação ao conforto térmico de animais criados à pasto. Seus resultados revelam como algumas árvores nativas são uma importante forma de promover conforto térmico aos animais manejados neste ambiente, reduzindo a carga térmica radiante e favorecendo o bem-estar animal.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Local de condução do experimento

O experimento foi conduzido no cerrado brasileiro em fisionomia “sensu stricto”, na Fazenda Água Limpa da Universidade de Brasília (UnB), DF, centro-oeste do Brasil (Figura 2a), com as respectivas coordenadas geográficas (15° 47' S, 47° 56' W) e altitude de 1080 m. A Fazenda Água Limpa está localizada na zona intertropical, onde a radiação solar direta tem médias diárias superiores a 1000 W m^{-2} nas estações de verão (Solargis.com, 2019). O padrão climático da região centro-oeste do Brasil, baseado no subtipo do sistema climático Köppen-Geiger, é Aw, savana tropical (KÖPPEN, 1948; ALVARES *et al.*, 2013), descrito como tendo duas estações definidas; invernos secos e verões chuvosos. No entanto, no inverno, a radiação solar também pode ser severa, sendo as médias anuais de precipitação, umidade relativa do ar, temperatura máxima e mínima do ar e velocidade do vento médias anuais; 1500 mm, 68% que é reduzido para <15% nos meses mais secos, 14 °C e 33 °C, $1,5 \text{ m s}^{-1}$ (SALGADO *et al.*, 2019; RABELING *et al.*, 2019; ROHLI; VEGA, 2018).

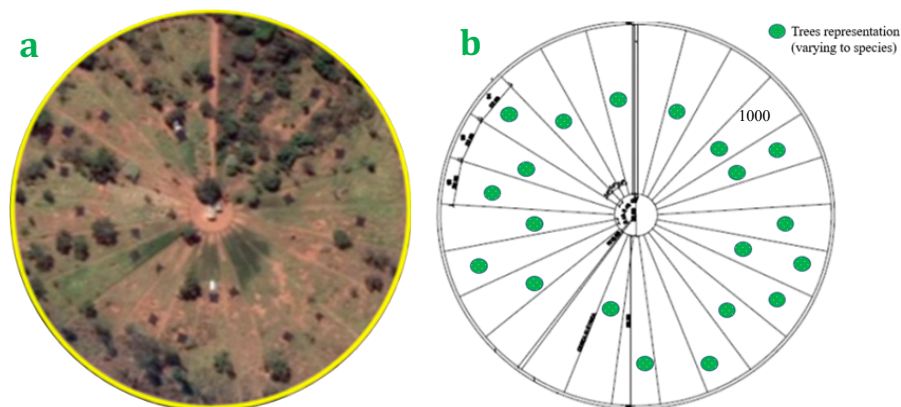


Figura 2 – Área do estudo: a) fotografia aérea de satélite (imagem do Google Earth®), b) desenho esquemático mostrando o desenho radial do setor e localização das espécies arbóreas do cerrado espalhadas nos piquetes da (UDCAL, Fazenda Água Limpa da UnB, DF, centro-oeste brasileiro).

As avaliações foram feitas durante 11 dias não consecutivos, entre 08:30 h e 16:30 h, no verão de 2020, que é a estação com os maiores níveis de radiação, dentro da área de conservação do bioma cerrado com área total de 2,5 ha (Figura 2b). Piquetes com a presença de diferentes espécies de árvores nativas do cerrado brasileiro foram selecionados pelo formato da copa,

conforme descrito anteriormente por Silva e Maia (2013), com adaptações morfológicas típicas, como troncos contorcidos e galhos com casca grossa resistente ao fogo, também conhecidos como pirófitos (GOMES *et al.*, 2018; FRANK-DE-CARVALHO *et al.*, 2015). Foram selecionadas quatro espécies arbóreas nativas comumente encontradas no bioma Cerrado, conforme mostra a amostragem de área feita por Ratter *et al.* (2003), respectivamente com seus formatos de copa: *Vochysia thyrsoidea* (cônica inversa), *Caryocar brasiliense* (forma de lentilha), *Solanum lycocarpum* (forma de lentilha) e *Pterodon emarginatus* (coroa esférica). Um resumo de todas as metodologias adotadas neste estudo de pesquisa é apresentado na Tabela 1.

4.2 Dados das espécies arbóreas

As dimensões físicas de cada árvore nativa foram medidas uma vez por mês ao meio-dia para estimar a área sombreada e proporção, a partir de equações específicas para espécies arbóreas em regiões tropicais, caracterizando a morfologia da copa, altura total, altura do tronco, raio vertical e horizontal da copa e diâmetro à altura do peito (DAP), conforme proposto por Silva (2006). As alturas das árvores e troncos de cada uma das árvores foram medidas pelo método geométrico descrito por West (2015), onde um corpo com comprimento conhecido é posicionado verticalmente na base da árvore. A estimativa do raio horizontal da copa da árvore foi feita com a ferramenta Ruler do Google Earth® e o raio vertical foi medido usando o mesmo método descrito para a altura do tronco da árvore, ilustrado na Figura 3. O DAP foi coletado com o auxílio de uma trena circunferencial 1,3 m acima do solo sobre o tronco da árvore (POMMERENING; GRABARNIK, 2020). Os dados são mostrados na Tabela 2.

A temperatura superficial das folhas (°C) e a temperatura das faces adaxial (externa) e abaxial (interna) foram medidas em cada uma das espécies arbóreas nativas selecionadas, com o auxílio de um termômetro infravermelho (modelo TD-960, ICEL®) mantido a 5 cm das folhas, evitando áreas sombreadas (NIELSEN; ANDERSON, 1989) em intervalos de 30 minutos.

Tabela 1 – Sumário da metodologia

Objetivos	Equipamento/Método	Variáveis
Dimensões físicas das árvores para estimativa de área de sombra e sequestro de carbono.	Método geométrico, ferramenta Ruler do Google Earth e fita métrica.	Altura total das árvores, altura do tronco, raio vertical e horizontal da copa e diâmetro à altura do peito (DAP).
Temperatura da superfície das folhas (°C adaxial (exterior) e abaxial (interior)).	Termômetro infravermelho (modelo TD-960, ICEL®), 5 cm próximo às folhas e evitando sombreamento, em intervalos de 30 minutos.	Temperatura da superfície das folhas (°C).
Temperaturas secas (temperatura do ar, Tar, °C), de bulbo úmido (Tbu, °C) e de globo negro da sombra das árvores e locais sem sombra.	Termômetro de globo negro (modelo Protemp-2, Criffer®), acompanhando previsão de sombra e deslocamento, 1 m acima do solo, em intervalo de 10 minutos das 08h30 às 16h30.	Temperaturas secas (temperatura do ar, Tar, °C), de bulbo úmido (Tbu, °C) e de globo negro (Tgn, °C).
A umidade relativa (UR, %) e a velocidade do vento (Vv, m s ⁻¹).	A UR foi calculada a partir das temperaturas de bulbo úmido e seco; Vv foi coletado pela estação meteorológica automática (Vaisala®, RW1200), localizada a 900 m da área experimental, em intervalos de 10 minutos.	Umidade relativa e velocidade do vento.
Radiação de ondas curtas	Calculado para todos os 12 meses do ano de acordo com Da Silva <i>et al.</i> (2010).	(RS, W m ⁻²).
Temperatura da superfície do solo coberta por sombra de árvores e não sombreada.	Termômetro infravermelho (modelo TD-960, ICEL®) em intervalo de 30 minutos, perpendicular aos feixes de radiação solar.	Superfície sombreada do solo (TGS, °C) e temperatura não sombreada da superfície do solo (TGU, °C).
Temperatura Radiante Média (TRM, °C) e Carga Térmica Radiante (CTR, W m ⁻²).	A TRM foi calculada a partir da temperatura do globo negro (Tgn, C°), assim o CTR foi calculado conforme proposto por Silva e Maia (2013).	TRM, °C e CTR, W m ⁻² .
Estimativa do sequestro de carbono	Calculado pela equação alométrica da biomassa pelos dados de DAP e altura, considerando o DAP, a altura e a densidade.	Carbono e dióxido de carbono (CO ₂).

Tabela 2 – Parâmetros físicos avaliados em quatro espécies nativas de árvores do Cerrado, *C. brasiliense*, *V. thyrsoidea*, *P. emarginatus* e *S. lycocarpum*.

Parâmetros	Espécies			
	<i>C. brasiliense</i>	<i>V. thyrsoidea</i>	<i>P. emarginatus</i>	<i>S. lycocarpum</i>
Nome comum	Pequi	Gomeira	Sucupira	Lobeira
Formato da copa	lentiforme	cônica-inversa	esférica	lentiforme
Altura total (m)	6,05	11,24	10,38	3,50
Altura do tronco (m)	1,78	6,92	3,46	1,75
Raio da copa 1 (m)	3,80	3,94	5,75	1,97
Raio da copa 2* (m)	3,90	-	-	2,12
DAP (cm)	26,73	34,37	35,33	14,32

*O raio da copa 2 é apenas para as espécies com formato de copa lentiforme.

Aspectos das quatro espécies arbóreas nativas avaliadas podem ser vistas na Figura 4.

C. brasiliense, nome local: Pequi, pertence à família Caryocaraceae e é protegida pela legislação brasileira. As árvores podem atingir mais de 10 m de altura e 6 m de largura (LEITE *et al.*, 2017). Possui fenologia foliar semidecídua (perda parcial das folhas no inverno), e suas folhas são pecioladas, trifolioladas, opostas e coriáceas. Cada folíolo possui nervura peninervada e geralmente margens serrilhadas (LORENZI; MATOS, 2002).

V. thyrsoidea, nome local: Gomeira, família Vochysiaceae, é uma espécie perene, podendo atingir 15 m de altura. As folhas são glabras e coriáceas com base atenuada e margens revolutas (DE ANDRADE *et al.*, 2011; GONÇALVES *et al.*, 2013).

P. emarginatus, nome local: Sucupira, família Fabaceae, é uma árvore caducifólia, por isso suas folhas caem no inverno e brotam na primavera. Pode atingir até 10 m de altura, possui folhas pubescentes e glabras com ápices folíolos emarginados (LORENZI; MATOS, 2002).

S. lycocarpum, nome local: Lobeira ou Fruto-do-lobo, é uma pequena árvore perene, com pico médio de 5 m de altura. Possui folhas simples, alternas e coriáceas, brancas tomentosas na face interna, com margens lobadas (CLERICI *et al.*, 2011).

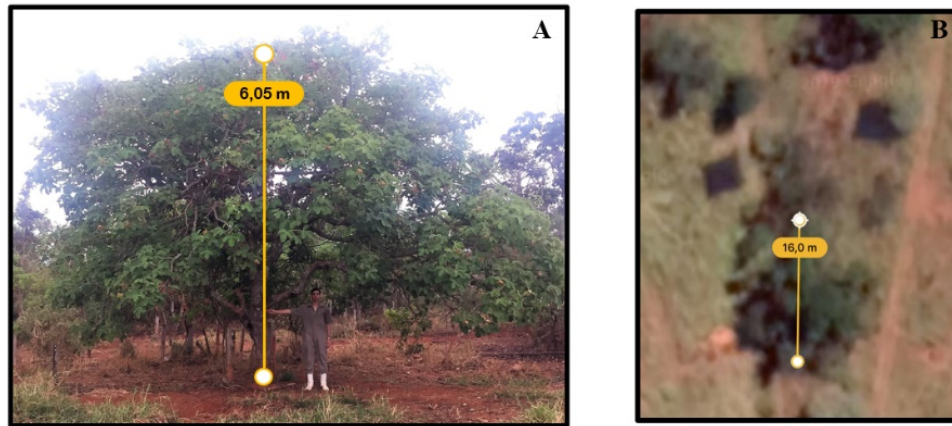


Figura 3 – Mensurações da altura estimada da árvore (A) e raio da copa horizontal das árvores nativas (B), imagem da espécie *C. brasiliense*.

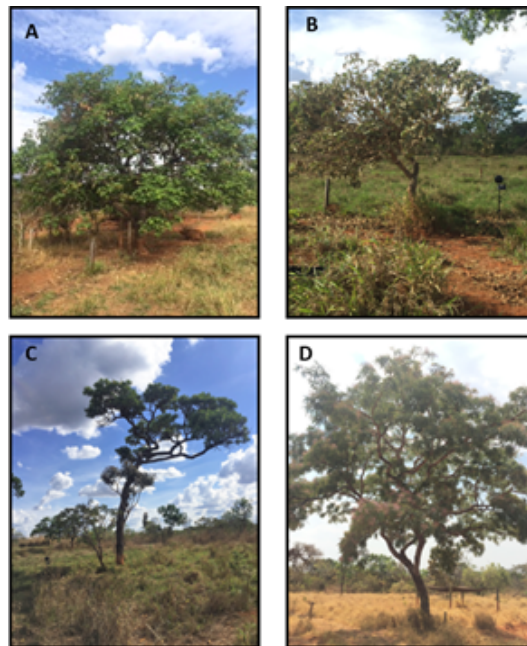


Figura 4 - Árvores nativas do Cerrado brasileiro a *Caryocar brasiliense* Camb. (A), *Solanum lycocarpum* St.-Hil. (B), *Vochysia thyrsoidea* Pohl. (C) e *Pterodon emarginatus* Vog. (D), na Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre - UDCAL/UnB.

4.3 Dados do microclima e conforto térmico

A coleta das temperaturas seca (temperatura do ar, T_{ar} , °C), de bulbo úmido (T_{bu} , °C) e de globo negro da sombra das árvores e da área não sombreada (T_{gn} , °C) foi feita com o auxílio de um termômetro de globo negro (modelo Protemp-2, Criffer®), como mostra a Figura 5, seguindo a previsão de sombra e deslocamento ao longo do período experimental (Figura 6). O

termômetro de globo negro foi mantido a 1 m acima do solo, para assumir os efeitos dos fatores ambientais sobre os animais em intervalos de 10 minutos, das 08h30 às 16h30. A umidade relativa (UR, %) foi calculada a partir das temperaturas de bulbo seco e úmido; a velocidade do vento (V_v , $m\ s^{-1}$) foi coletada pela estação meteorológica automática (Vaisala®, RW1200), localizada a 900 m da área experimental, em intervalos de 10 minutos; e a radiação de ondas curtas (q_{rads} , $W\ m^{-2}$) foi calculada para todos os 12 meses do ano de acordo com Da Silva *et al.* (2010).



Figura 5 - Termômetro de globo negro utilizado para as coletas das variáveis meteorológicas do microclima sombreado pelas árvores nativas na Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre - UDCAL/UnB.

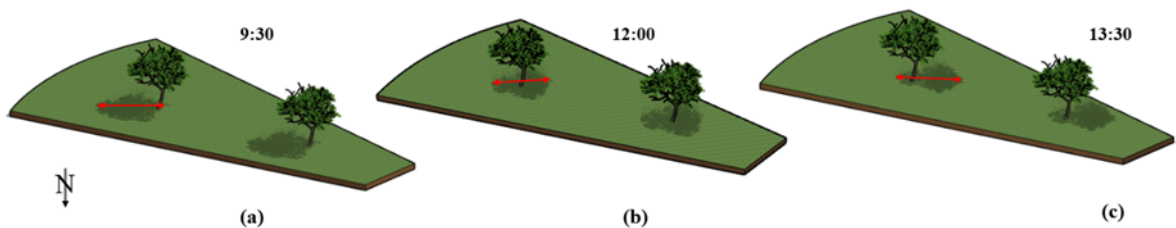


Figura 6 – Esquema representativo da posição do sombreamento das espécies arbóreas pelo software SketchUp®, (A) às 9h30min, (B) às 12h00min e (C) às 13h30min nos piquetes da Unidade Demonstrativa de Criação de Suínos ao Ar Livre (UDCAL/FAL-UnB).

A temperatura da superfície do solo (sem vegetação) coberta pela sombra das árvores (TGS, °C) e a temperatura da superfície do solo sem sombra (TGU, °C) foram medidas com o auxílio de um Termômetro Infravermelho (modelo TD-960, ICEL®) por 30 minutos de intervalo, realizada perpendicularmente aos feixes de radiação solar conforme descrito por Marcillac-Embertson *et al.* (2009), Armson *et al.* (2012) e Napoli *et al.* (2016).

A Temperatura Radiante Média (TMR, °C) foi calculada a partir da temperatura do globo negro (T_G , C°) para cada espécie de árvore selecionada nas áreas não sombreadas e sombreadas. Assim, a carga de calor radiante (RHL, W m⁻²) foi proposta por Silva e Maia (2013), e foi utilizada para estimar o conforto térmico de animais em condições tropicais (Equações 1 e 2).

$$TMR = \left[\frac{h_G(T_G - T_A) + \varepsilon_G \sigma T_G^4}{\varepsilon_G \sigma} \right]^{1/4}, \text{ K.} \quad (1)$$

onde T_G (K) é a temperatura do globo negro; h_G (W m⁻² K⁻¹) é o coeficiente de convecção do globo negro; T_A (K) é a temperatura de bulbo seco; $\varepsilon_G = 0,95$ é a emissividade do globo negro e $\sigma = 5,67051 \times 10^{-8}$ W m⁻² K⁻⁴ é a constante de Stefan-Boltzmann.

$$RHL = \sigma \cdot TMR^4, \text{ W m}^{-2} \quad (2)$$

4.4 Estimativa do sequestro de CO₂

A estimativa de carbono e dióxido de carbono (CO₂) sequestrado pelas árvores foi calculada considerando a equação alométrica da biomassa (inclui raiz e parte aérea), a partir dos dados individuais de DAP e altura de cada árvore (árvore ha⁻¹; Mg ind⁻¹). A equação 3 foi desenvolvida para espécies arbóreas do cerrado brasileiro (PINHEIRO, 2008) e aplicada por Abreu *et al.* (2017):

$$\text{Biomassa total: } \ln(M) = -1,6516 + 0,7643 \cdot \ln(d^2 h) \quad (3)$$

Onde (M) é a biomassa seca estimada, kg; (d) é o diâmetro do caule, cm; e (h) é a altura, m. A massa de carbono foi estimada considerando o fator de conversão de 0,5 kg C kg⁻¹ da biomassa, e o dióxido de carbono (CO₂) da estequiometria da molécula de CO₂ e assim multiplicando o estoque de carbono pelo fator constante de 3,67 (Penman *et al.*, 2003).

4.5 Análise estatística

Os dados foram analisados estatisticamente por meio do software SAS (Statistical Analysis System versão 9.2) segundo Littell *et al.* (2002). Isso possibilitou a melhor distribuição de dados relacionados ao padrão normal, organização de arquivos e estatísticas de análise de variância, dispersão, associação e tendência central, com base no método dos quadrados mínimos (HARVEY, 1960). A comparação entre as médias foi realizada pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. A análise de variância foi realizada usando o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + D_i + S_j + T_k + e_{ijk} \quad (4)$$

Onde Y_{ijk} é a i -ésima observação das variáveis meteorológicas estudadas; μ é a média paramétrica; D_i é o efeito do i -ésimo dia ($i = 1, \dots, 11$); S_j é o efeito do período do j -ésimo dia ($j = 8, \dots, 16$); T_k é o efeito da k -ésima árvore ($k = C. brasiliense, V. thyrsoidea, P. emarginatus, S. lycocarpum$); e e_{ijk} é o erro aleatório.

5. RESULTADOS

5.1 Variáveis meteorológicas e microclimáticas

A média da irradiância total (RS, W m^{-2}) foi de $1170,9 \text{ W m}^{-2}$, variando entre $732,9 \text{ W m}^{-2}$ e $1432,2 \text{ W m}^{-2}$. Uma diferença significativa foi observada entre as horas do dia ($P < 0,05$), e os valores médios mais altos foram observados ao meio-dia e 13:00h, respectivamente $1420,7$ e $1389,6 \text{ W m}^{-2}$ (Figura 7). As médias das variáveis microclimáticas (Tar, UR e Tgn) sob as espécies arbóreas nativas para áreas sombreadas e não sombreadas não apresentaram diferença estatística entre os dias ($P < 0,05$).

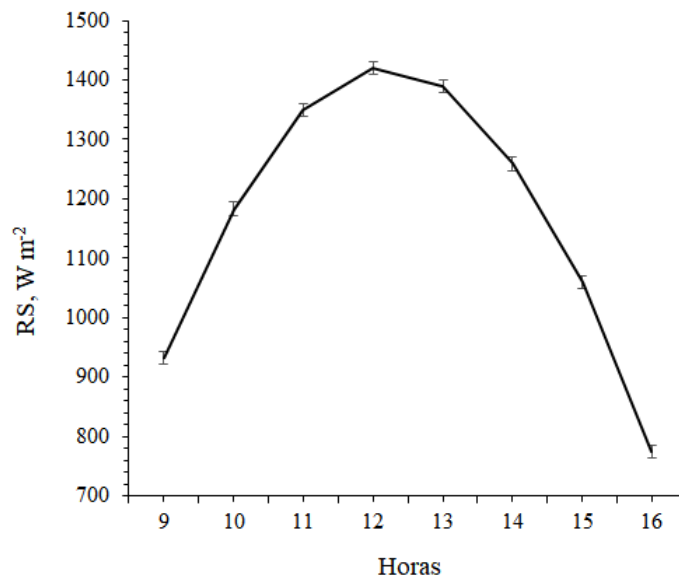


Figura 7 – Médias da radiação de ondas curtas (RS, W m^{-2}) em função dos horários do dia das 9 às 16h.

A temperatura média do ar (Tar, $^{\circ}\text{C}$) foi de $29,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, atingindo mínima de $26,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ às 9h e máxima de $30,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ entre 11h e 14h (Figura 8A). A Tar média à sombra das árvores foi de $28,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, com redução média de $1,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$ em relação à área sem sombra ($P < 0,01$). A exceção foi o sombreamento da espécie *C. brasiliense*, que apresentou redução de $1,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$ em relação às demais árvores e redução de $2,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ na área não sombreada. A Tar não apresentou diferença significativa entre as árvores *V. thyrsoidea*, *P. emarginatus* ou *S. lycocarpum* ($P > 0,05$; $28,8 \pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $28,8 \pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$; $28,8 \pm 0,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, respectivamente), nem a área não sombreada ($29,6 \pm 0,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$). A temperatura de bulbo úmido (Tbu, $^{\circ}\text{C}$) e a umidade relativa do ar (UR, %) atingiram valores mínimos de $19,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $31,3 \%$, e os valores máximos observados foram de $24 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $75,5 \%$, respectivamente. Os valores médios observados para as espécies *V. thyrsoidea*, *C.*

brasiliense, *S. lycocarpum* e *P. emarginatus* foram respectivamente $67,4 \pm 0,4 \%$; $50,0 \pm 0,5\%$; $64,9 \pm 0,4\%$; $65,0 \pm 0,4 \%$, e a área não sombreada teve um valor médio de $39,2 \pm 0,4 \%$. O *C. brasiliense* apresentou estabilidade nos valores de UR entre 11:00 h e 14:00 h ($P > 0,05$) e conforme previsto a UR acompanhou a variação do Tar (Figura 8B).

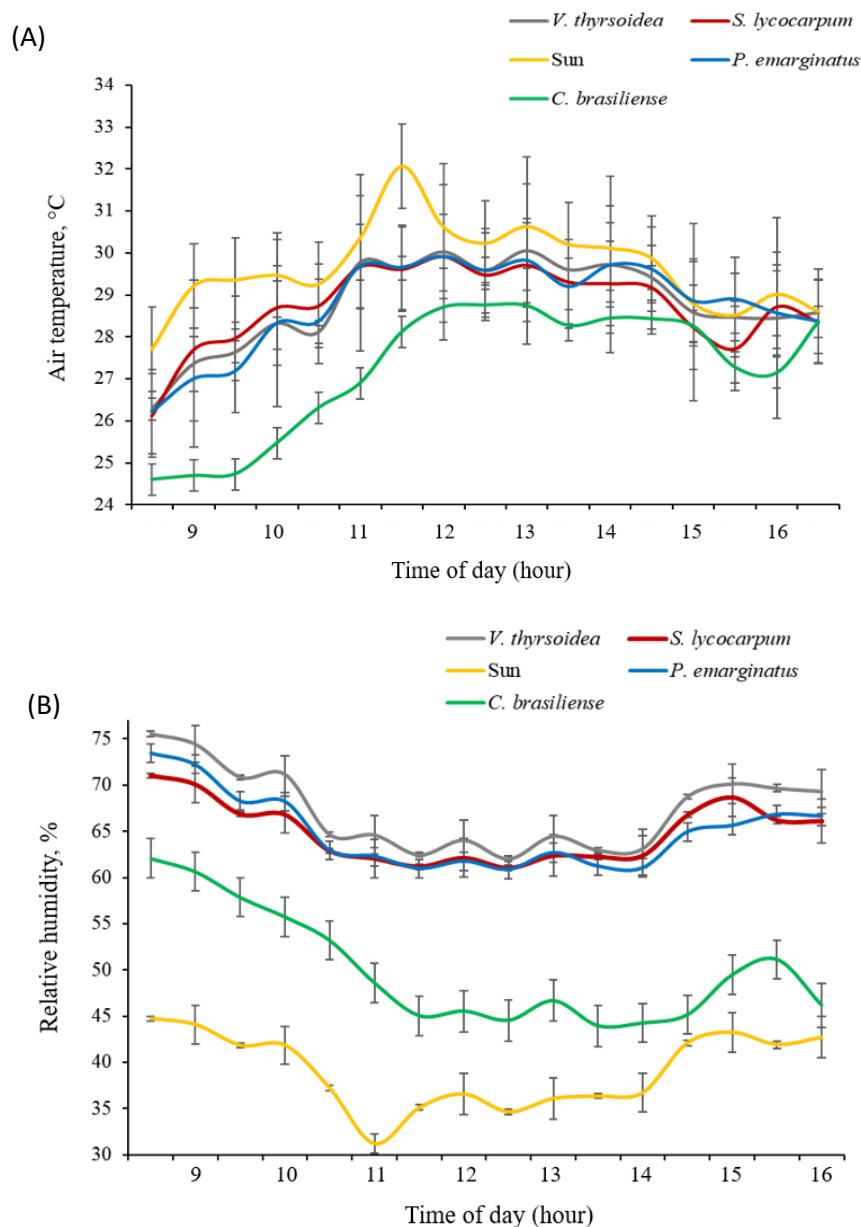


Figura 8 – Médias da temperatura do ar Tar, °C (A) e umidade relativa do ar UR, % (B) por cada espécie arbórea (*V. thyrsoidea*, *C. brasiliense*, *S. lycocarpum*, *P. emarginatus* e local sem sombra), ao longo do dia horas, das 8h30 às 16h00.

A UR do sombreamento por *P. emarginatus*, *S. lycocarpum* e *V. thyrsoidea* manteve-se acima de 50 %, não apresentando diferença estatística entre eles ($P > 0,05$), exceto para *S. lycocarpum* e *P. emarginatus* ($P = 0,001$). A espécie arbórea *V. thyrsoidea* obteve os maiores valores de UR, enquanto a sombra de *C. brasiliense* diminuiu 23,4 % em relação às demais espécies arbóreas. Na área não sombreada, a média de UR foi 37,1%, menor do que sob as árvores ($P > 0,99$; Figura 8B).

Os maiores valores de temperatura de globo negro (Tgn, °C) foram observados às 11h30 e 12h30 com médias respectivamente de 37 °C e 35,1 °C, e com diferença estatística ($P < 0,05$) das demais horários. A árvore *S. lycocarpum* apresentou o maior valor de Tgn diferindo das demais árvores ($P < 0,05$); *V. thyrsoidea* e *P. emarginatus* não diferiram ($P > 0,05$), e *C. brasiliense* apresentou o menor valor. Na hora mais quente, às 13h30, a velocidade do vento (V_v , m s⁻¹) foi próxima a 1,82 m s⁻¹, com média de 0,71 m s⁻¹.

5.2 Temperaturas da superfície do solo e foliar

A temperatura média do solo sombreado foi de 26,4 °C, enquanto as maiores médias foram observadas ao meio-dia (28,3 °C; figura 9). A árvore *C. brasiliense* obteve a menor temperatura sombreada do solo ($24,8 \pm 0,2$ °C), diferindo das demais árvores ($P < 0,05$), *V. thyrsoidea*, *S. lycocarpum* e *P. emarginatus*, respectivamente de $27,3 \text{ °C} \pm 0,2$, $27,1 \text{ °C} \pm 0,2$ e $27,0 \text{ °C} \pm 0,1$. O solo sem sombra não apresentou diferença estatística entre as espécies arbóreas ($P > 0,05$), sendo observada uma média de 34,1 °C. Nas horas mais quentes, a árvore *C. brasiliense* apresentou as maiores temperaturas do solo sem sombra, com média de 41,5 °C ao meio-dia; porém, ao mesmo tempo, a temperatura do solo protegido pela sombra era de 27,2 °C, representando uma diferença de 14,3 °C entre eles (Figura 9).

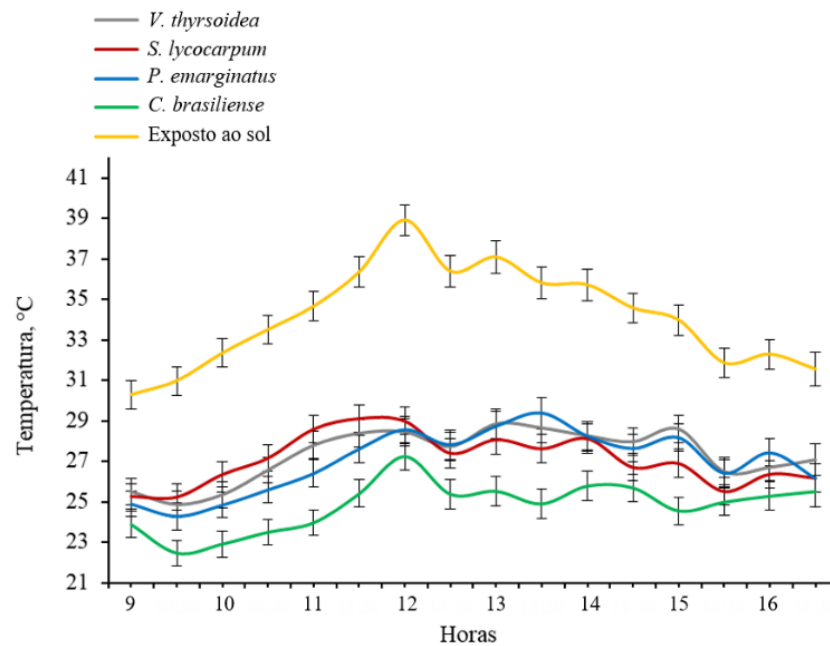


Figura 9 – Médias da temperatura do solo exposto ao sol (°C) e do solo sombreado (°C) por espécie de árvores nativas (*V. thyrsoides*, *S. lycocarpum*, *P. emarginatus* e *C. brasiliense*), em função da hora do dia.

As temperaturas foliares abaxial (interna, 26,6 °C) e adaxial (superior, 26,8 °C) não apresentaram diferenças significativas ($P > 0,05$) entre as espécies arbóreas, horários ou dias. As temperaturas ficaram aproximadamente 3 °C abaixo da variação do Tar ao longo do dia (Figura 10). A única diferença significativa ($P < 0,05$) foi a temperatura da superfície adaxial das folhas de *V. thyrsoides* ao meio-dia, que diferiu de *C. brasiliense* e *S. lycocarpum* ($P < 0,05$), com temperatura superior de 30 °C. As médias das temperaturas de superfície abaxial e adaxial para *C. brasiliense*, *S. lycocarpum*, *P. emarginatus* e *V. thyrsoides* foram, respectivamente, 26,4 °C, 26,5 °C, 26,7 °C e 27,3 °C.

5.3 Índices de conforto térmico

A TRM média para a área sombreada das árvores foi de 33,7 °C, 27,4 % menor em comparação com a área sem sombra (46,4 °C). Observou-se diferença significativa entre os dias e horários ($P < 0,05$). Entre 12:00 h e 13:00 h, as maiores médias de TRM foram observadas, 39,9 e 40,4 °C, respectivamente. O menor valor médio observado para *C. brasiliense*, $31,1 \pm 0,5$ °C, diferiu significativamente das demais espécies ($P < 0,001$) e manteve-se estável ao longo dos horários ($P > 0,05$). A TRM das outras espécies arbóreas *V. thyrsoides*, *S. lycocarpum* e *P. emarginatus* não diferiram ($P > 0,05$), com médias respectivas de $34,5 \pm 0,4$ °C, $35,1 \pm 0,4$ °C e $34 \pm 0,4$ °C (Figura 11).

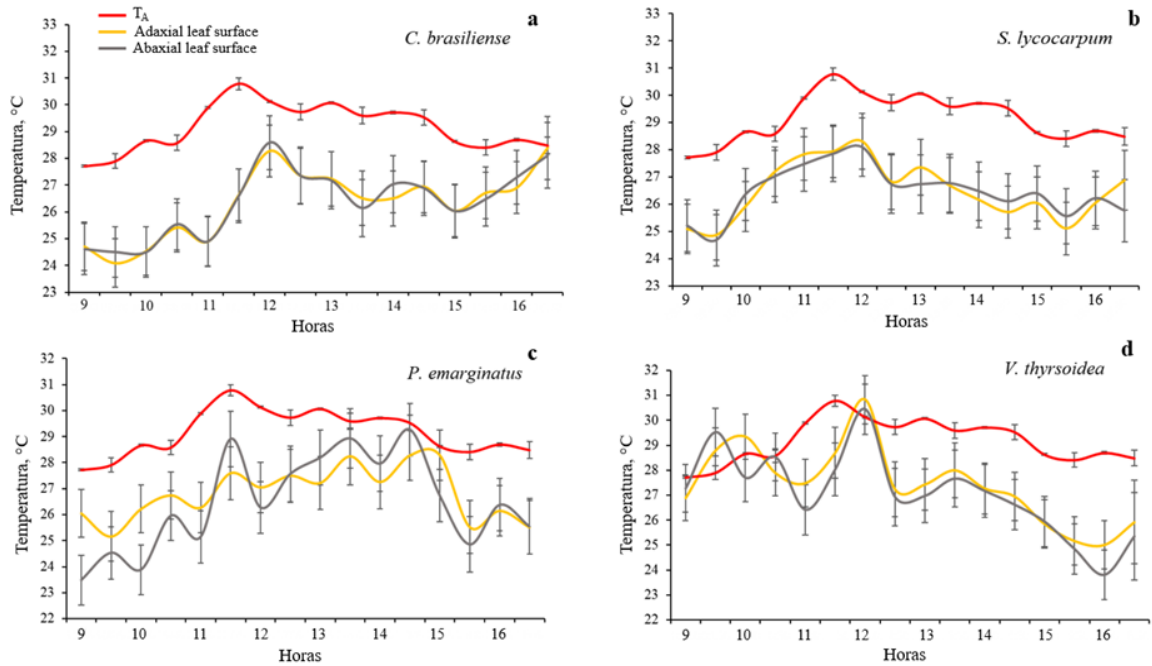


Figura 10 – Temperaturas das superfícies adaxial e abaxial da folha ao longo do dia em comparação com a média de Tar das espécies arbóreas nativas: (a) *C. brasiliense*, (b) *S. lycocarpum*, (c) *P. emarginatus* and (d) *V. thyrsoidea*.

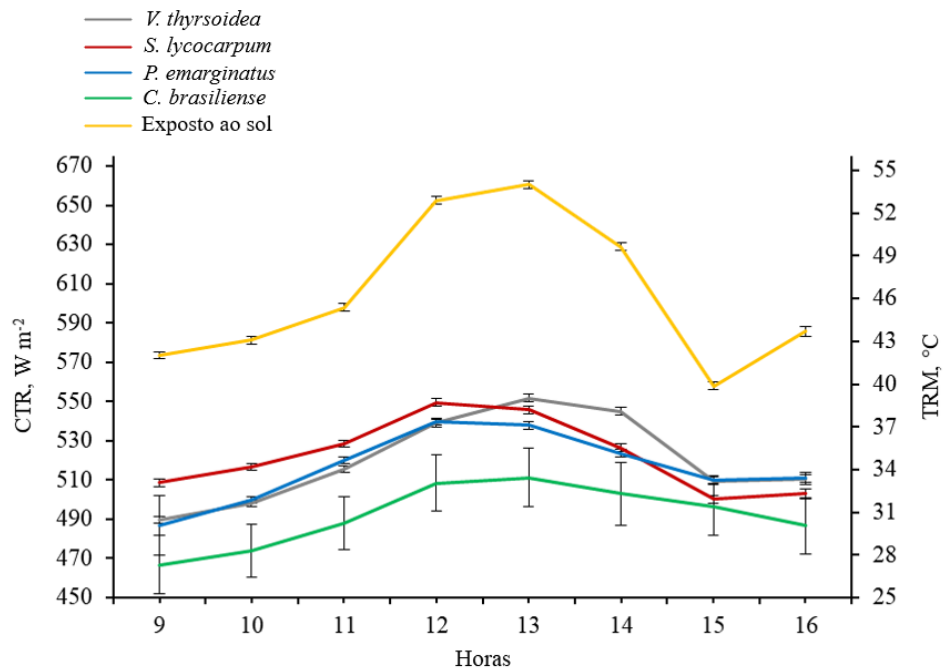


Figura 11 – Médias da Carga térmica radiante (CTR, W m⁻²) e da Temperatura radiante média (TRM, °C) em locais com exposição ao sol e em áreas sombreadas por cada espécie de árvores (*C. brasiliense*, *V. thyrsoidea*, *P. emarginatus*, *S. lycocarpum*) em função dos horários do dia das 9 às 16h.

A Carga Térmica Radiante diferiu entre os dias e horários ($P < 0,05$). As médias observadas na sombra das árvores e na área não sombreada foram respectivamente de $503,6 \text{ W m}^{-2}$ e $595,1 \text{ W m}^{-2}$, o que corresponde a uma redução de 15,4 % na CTR. A média das 12:00 h às 13:00 h da área sem sombra foi de $646,0 \text{ W m}^{-2}$ e $520,5 \text{ W m}^{-2}$ na sombra das árvores. A CTR não diferiu ($P > 0,05$) entre as espécies arbóreas e foram observadas as seguintes médias: $509,2 \pm 2 \text{ W m}^{-2}$ para *V. thyrsoidea*, $513,1 \pm 2 \text{ W m}^{-2}$ para *S. lycocarpum*, $505,5 \pm 2 \text{ W m}^{-2}$ para *P. emarginatus* e $486,7 \pm 3 \text{ W m}^{-2}$ para *C. brasiliense*. Às 13:00 h, a CTR da área não sombreada atingiu $657,1 \text{ W m}^{-2}$, 31,1 % maior ($P < 0,05$) em comparação com a sombra de *C. brasiliense* ($501,3 \text{ W m}^{-2}$; Fig. 10).

5.4 Área sombreada

A área sombreada ($\pm \text{EP}$, m^2) foi estimada para *V. thyrsoidea*, *S. lycocarpum*, *C. brasiliense* e *P. emarginatus* ao longo dos 12 meses do ano ao meio-dia, horário em que foi observado o maior valor de incidência de irradiação, correspondendo a $53,6 \pm 1 \text{ m}^2$, $14,4 \pm 1 \text{ m}^2$, $51,1 \pm 1 \text{ m}^2$ e $114 \pm 1 \text{ m}^2$, respectivamente (Figura 12). Nos meses de inverno, a média de RHL foi de $1.057,3 \text{ W m}^{-2}$ e de $1.379,01 \text{ W m}^{-2}$ durante o verão. A espécie *P. emarginatus* é classificada como uma árvore caducifólia (com perda total de folhas no inverno) com formato de copa esférica, apresentou os maiores valores de área sombreada com médias ao meio-dia superiores à 100 m^2 . A *V. thyrsoidea*, classificada como uma árvore de copa cônica-inversa, apresentou médias de área sombreada superiores a 50 m^2 ao longo do ano. As espécies *S. lycocarpum* e *V. thyrsoidea* não apresentaram diferença na área sombreada ao longo dos meses, exceto no inverno quando a área sombreada foi maior ($P < 0,05$).

5.5 Sequestro de carbono

O sequestro de CO_2 variou de 6,2 a $10,3 \text{ Mg ind}^{-1}$ (Tabela 3), as espécies mais altas, *P. emarginatus* e *V. thyrsoidea*, demonstraram resultados similares de sequestro de carbono, chegando a valores superiores a 10 Mg ind^{-1} , no qual é 36% maior do que as outras espécies estudadas (Figura 13). A árvore *S. lycocarpum* obteve os menores valores na biomassa total, estoque de carbono, e sequestro de CO_2 , enquanto a *C. brasiliense* apresentou resultados similares comparado as outras espécies arbóreas.

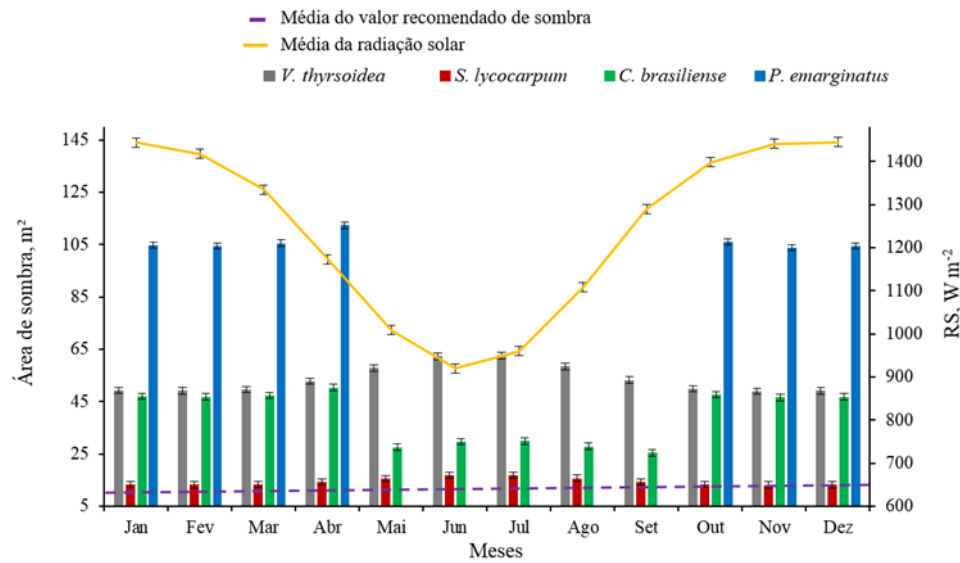


Figura 12 – Médias dos valores previstos de área de sombra provida por cada espécie arbórea nativa (*V. thyrsoidea*, *S. lycocarpum*, *P. emarginatus* e *C. brasiliense*) às 12h ao longo dos meses do ano, com a consideração da fenologia foliar.

Tabela 3 – Biomassa total, estoque de carbono e CO₂ sequestrado por estudo de cada espécie de árvore (Mg ind⁻¹).

Espécies	Biomassa total (Mg ind ⁻¹)	Estoque de carbono (Mg ind ⁻¹)	CO ₂ sequestrado (Mg ind ⁻¹)
<i>C. brasiliense</i>	4.75	2.38	8.71
<i>V. thyrsoidea</i>	5.60	2.80	10.27
<i>P. emarginatus</i>	5.58	2.79	10.23
<i>S. lycocarpum</i>	3.37	1.68	6.18

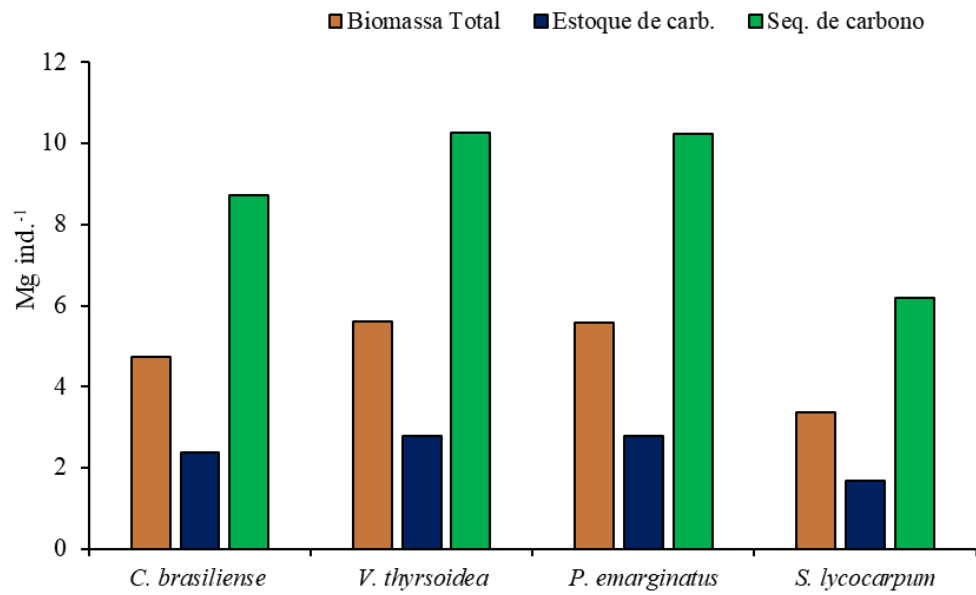


Figura 13 – Estoque de carbono (Mg ind⁻¹) e o sequestro de carbono (Mg ind⁻¹) estimados para cada espécie de árvore do estudo, de acordo com os dados coletados na (Fazenda Água Limpa da UnB, DF).

6. DISCUSSÃO

6.1 Ajuste do microclima e área sombreada

Os benefícios da sombra das árvores têm se mostrado de grande importância para os ecossistemas e animais criados em sistemas agroflorestais. Este trabalho contribui para entender como a biodiversidade de sombra de espécies arbóreas nativas do cerrado beneficia o conforto térmico dos animais, além do potencial de sequestro de carbono em sistemas agroflorestais.

A primeira reação da maioria dos animais em condições de estresse térmico, quando a perda de calor por fluxo sensível não é suficiente para manter a temperatura corporal estável (SILVA; MAIA, 2013), é buscar um local termicamente preferível, apresentando comportamento de busca pelo frio, principalmente, algum local sombreado (SPEAKMAN, 2001; ALMEIDA *et al.*, 2006). A redução média observada neste estudo em 1,3 °C na temperatura do ar proporcionada pela sombra das árvores está de acordo com o alcance da zona de termoneutralidade da maioria dos mamíferos e aves (RIEK; GEISER, 2013; YAHAV, 2015), cuja temperatura crítica superior varia entre 29,0 °C e 33,7 °C. Portanto, isso implica que, para que os animais mantenham sua homeostase de temperatura corporal, não é necessária a ativação de mecanismos latentes de perda de calor, como evaporação de água por respiração e sudorese, que impactam negativamente seu desempenho e saúde (MADER, 2014; COLLIER; GEBREMEDHIN, 2015).

A maior diferença observada na Tar em relação à área não sombreada, foi da sombra fornecida pela árvore *C. brasiliense*, com uma diferença de 2 °C às 13:00 h (figura 8A). Uma diminuição semelhante na Tar (2,3 °C) durante as horas mais quentes na sombra de espécies arbóreas não nativas em comparação com a área exposta ao sol em um sistema de Integração Lavoura-Pecuária-Floresta no cerrado brasileiro foi observada por Karvatte *et al.* (2016). Os mesmos autores descrevem uma diferença de temperatura para espécies arbóreas nativas dispersas no mesmo sistema de até 9 °C. Abdallah e Chaieb (2012) relataram uma redução na Tar acima de 2 °C a partir da sombra de espécies arbóreas do cerrado mediterrâneo no semiárido brasileiro. O componente arbóreo teve reduções médias semelhantes sob sombra de quase 3 °C (MENEZES *et al.*, 2002).

A umidade relativa da sombra das árvores, que é um dos fatores ambientais mais importantes relacionados à termorregulação animal, foi 58% maior em média do que na área sem sombra (figura 8B). Uma estabilidade entre 30 e 70% de UR é desejada para uma condição de conforto

térmico adequado (NATIONAL RESEARCH COUNCIL, 2011); no entanto, a combinação com Tar tem efeitos consideráveis em condições de estresse térmico, pois altos valores de UR podem prejudicar a perda de calor por evaporação. Portanto, o sombreamento proporcionado pela *C. brasiliense* é benéfico por apresentar valores mais estáveis de UR e assim não comprometer a termorregulação latente dos animais (Figura 8B).

O comportamento inversamente proporcional observado de UR e Tar ao longo das horas do dia (Figura 8A–B) deve-se ao aquecimento do ar à medida que diminui seu teor de umidade relativa, conforme observado nas horas mais quentes. Esses níveis de Tar e UR podem suportar melhor a zona de termoneutralidade dos animais, favorecendo assim um fluxo de calor sensível (Mitchell *et al.*, 2018). A transferência de calor por convecção de acordo com a velocidade do vento observada neste estudo de mais de $1,7 \text{ m s}^{-1}$ (entre 13:00 h e 14:30 h – as horas mais quentes) é suficiente para permitir a perda de calor por convecção dependendo da diferença entre Tar e a temperatura corporal do animal. Essa diferença pode reduzir a resistência térmica do ar adjacente na superfície do animal e, assim, melhorar o conforto térmico sob a sombra (MCARTHUR, 1981). Apesar disso, estudos recentes realizados em campo aberto têm relacionado o ganho de calor por convecção quando a temperatura do ar é elevada (MAIA *et al.*, 2005), conforme observado neste estudo.

Karvatte *et al.* (2016) e de Oliveira *et al.* (2018) realizaram estudos em sistemas agroflorestais de Cerrado brasileiro e descreveram que uma disposição arbórea dispersa apresentou maiores valores de velocidade do vento. No entanto, esse arranjo arbóreo esparsa ainda pode aproveitar o efeito quebra-vento em sistemas silvipastoris, conforme observado por Deniz *et al.* (2019). Portanto, esse achado demonstra o potencial dessas espécies de árvores para serem usadas como cercas vivas, bem como corredores e barreiras contra incêndios florestais.

A maior diferença de valores de UR observada entre a sombra das árvores e a área não sombreada (figura 8B), pode ter sido influenciada pela transpiração nas folhas que aumenta o teor de vapor d'água no microclima próximo à superfície do dossel. Outros aspectos das espécies arbóreas, como o formato da copa e a morfologia das folhas (Figura 14), também afetam esses valores, conforme descrito por Jones (2013). Esperava-se uma temperatura adaxial das folhas mais elevada em relação à temperatura abaxial devido à exposição à radiação solar direta. Entretanto, não foi observada diferença estatística ($P > 0,05$) entre as espécies arbóreas nem ao longo do tempo (Figura 10).

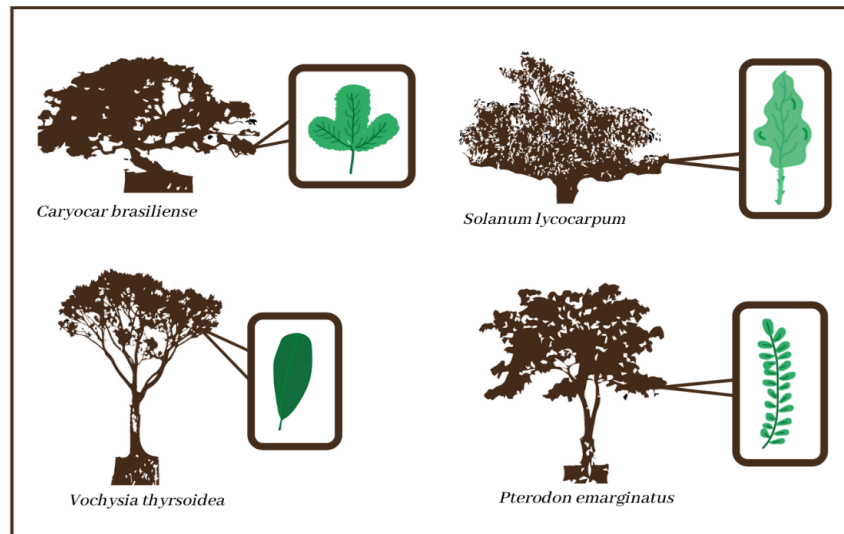


Figura 14 – Ilustração das espécies arbóreas nativas do Cerrado (*V. thyrsoidea*; *P. emarginatus*; *C. brasiliense*; *S. lycocarpum*) avaliadas neste estudo na UDCAL/FAL/UnB, com destaque a seus formatos de copa e morfologia foliar.

A transpiração foliar está diretamente correlacionada com a temperatura das folhas, conforme observado na figura 10a, b, c. As temperaturas foliares de *C. brasiliense*, *S. lycocarpum* e *P. emarginatus* ficaram abaixo da Tar durante a maior parte do dia, devido ao resfriamento evaporativo nas folhas que aumenta a UR no microclima sombreado. A mesma condição foi apontada por Van Laer *et al.* (2014), em um relatório sobre a relevância do abrigo ao ar livre para os animais. Porém, em nosso estudo, não foi observada influência deste parâmetro na UR para a sombra de *V. thyrsoidea*, apresentando uma pequena diferença entre a temperatura foliar e a Tar, principalmente no início da manhã e ao meio-dia ($P > 0,05$). Isso pode ser atribuído ao fechamento estomático nessas horas para evitar a perda de água das folhas (LAMBERS; OLIVEIRA, 2019). Isso faz com que a árvore obtenha maiores valores de UR ao longo do dia, diferindo das demais espécies arbóreas ($P < 0,05$). Os valores de UR observados para *C. brasiliense* sob a sombra da copa também diferiram de outras espécies arbóreas ($P < 0,05$), sendo que a redução da Tar e a estabilização do nível de UR nas horas mais quentes resultaram em melhores parâmetros de conforto térmico.

Os maiores valores de temperatura foliar encontrados neste estudo diferem dos resultados de Franco *et al.* (2007) para outras espécies de árvores do cerrado brasileiro, que relataram picos de temperatura foliar de 36 °C.

A temperatura da superfície do solo sob a sombra das árvores foi 22,2% menor em comparação com o solo sem sombra. Este é um fator relevante na condição de conforto térmico à sombra, pois a radiação absorvida pelo solo é emitida como radiação de onda longa no corpo dos animais (SILVA; MAIA, 2013). Conforme relatado por Kelly *et al.* (1971), uma temperatura mais alta do solo pode contribuir para uma carga térmica radiante superior a 400 W m⁻² sobre o animal.

Embora nas horas mais quentes o solo não sombreado da *C. brasiliense* tenha obtido a maior média em relação às demais árvores ($P < 0,05$), com média de 41,5 °C ao meio-dia, a temperatura do solo sombreado foi 34,5 % menor e manteve-se estável ao longo tempo ($P > 0,05$). Esses resultados representam um maior período de descanso dos animais à sombra, maximizando assim a transferência de calor por condução devido à a diferença de temperatura entre o corpo do animal e o solo. Assim, se os animais aumentarem a área de contato da superfície corporal ligada a superfícies mais frias, é possível aumentar a perda de calor do corpo por meio da radiação de ondas longas (COLLIER; GEBREMEDHIN, 2015; CENGEL; GHAJAR, 2020). Rhoades (1996) observou uma redução semelhante de 12 °C no solo sombreado das árvores da savana queniana. Em um sistema silvipastoril em condições subtropicais, Deniz *et al.*, 2019 observaram uma diminuição média de 36,8% na temperatura da superfície sombreada do solo em comparação com áreas não sombreadas. Essas reduções na temperatura da superfície do solo estão associadas à radiação interceptada pela copa das árvores e à densidade de sua folhagem (LIU *et al.*, 2020), o que significa que o formato e a densidade da copa da *C. brasiliense* podem favorecer a diminuição na temperatura do solo.

A área sombreada fornecida pelas espécies arbóreas nativas está diretamente relacionada à sua altura, copa e fenologia foliar, o que infere a área sombreada adequada ao longo das estações do ano. Com base nas espécies arbóreas deste estudo, a área sombreada ao longo dos meses do ano ao meio-dia foi, em média, superior a 50 m², o que é recomendado para os animais e permite a movimentação adequada do ar entre seus corpos, evitando a aglomeração, reduzindo a carga térmica e favorecendo a transferência de calor por convecção (COLLIER ; COLLIER, 2012). Nos meses de maior radiação solar (picos de 1400 W m⁻²), é possível observar a significativa quantidade de radiação a que os animais são susceptíveis quando expostos a um campo sem sombreamento. Portanto, a presença das espécies arbóreas proporcionou uma área de sombreamento adequada mesmo com diferença entre elas ($P < 0,05$). A árvore *P. emarginatus* obteve a maior média de área sombreada, acima de 100 m², o que permitiu maior número de animais por área sombreada. No entanto, como uma árvore caducifólia, perde completamente

as folhas entre Maio e Setembro (meses secos do inverno) quando a radiação ainda é proeminente e pode atingir acima de 900 W m^{-2} (figura 12). No entanto, *V. thyrsoidea* e *S. lycocarpum* são classificadas como árvores perenes, e não perdem suas folhas, garantindo sombreamento constante e revelando a importância da biodiversidade de espécies arbóreas na mesma área.

A fenologia foliar também influenciou nos resultados observados para *C. brasiliense*, que, apesar de ser classificada como semidecídua e com notável perda de folhas durante o inverno, ainda proporcionou boa cobertura para certo número de animais por área sombreada, mantendo uma média de 39 m^2 ao longo do ano. A árvore *S. lycocarpum* apresentou as menores médias de área sombreada em relação às demais árvores ($14,4 \text{ m}^2$), mas esteve de acordo com os valores da literatura para conforto animal de 5,6 e $9,6 \text{ m}^2$ por animal (ALVES *et al.*, 2015; SCHÜTZ *et al.*, 2010).

6.2 Condições de conforto térmico

Sob condições tropicais, Tar e UR não são os melhores parâmetros para inferir as condições de conforto térmico dos animais, especialmente para grandes mamíferos (BUCKLEY; HUEY, 2016; MITCHELL *et al.*, 2018).

Ambos os mecanismos de fluxo de calor sensível e latente entre os animais e o ambiente são principalmente dependentes da diferença de temperatura entre a superfície do corpo e o ar, que estão diretamente relacionados à quantidade de radiação incidente (GATES, 1980). Neste estudo, a radiação solar atingiu médias acima de 1000 W m^{-2} , o que aumentou a carga térmica radiante (CTR) sob o microambiente. A partir da temperatura do globo negro, calculamos a temperatura radiante média (TRM) que foi usada para inferir o microclima sombreado das árvores nativas. Na área não sombreada, conforme mostrado na figura 11, foram observados os maiores valores, mostrando o efeito da quantidade de radiação emitida do ambiente a que os animais estão submetidos. Esses níveis de TRM acima de $50 \text{ }^\circ\text{C}$ observados na área não sombreada não são desejáveis, pois aumentam a carga térmica radiante (CTR, W m^{-2}), que é um índice de conforto térmico que estima a quantidade de energia térmica transferida por radiação das superfícies ao redor de um corpo (ESMAY, 1983). Portanto, valores altos prejudicam a condição de conforto térmico (SILVA; MAIA, 2013).

Principalmente nas horas mais quentes (11:00 h às 14:00 h), o aumento observado na T_{gn} refletiu em altos valores de CTR e, portanto, condições térmicas desfavoráveis. No entanto, nos

mesmos horários, notou-se uma redução média de CTR sob a sombra das árvores acima de 19,5%. A sombra da árvore *C. brasiliense* se destaca por diminuir em 23,7% a incidência de CTR nesses horários, valor próximo ao relatado por Karvatte *et al.* (2016) e Pezzopane *et al.* (2019) da sombra de árvores em sistemas agroflorestais, respectivamente de 28,3 % e 14,3 %. Essas médias podem proporcionar uma melhor condição de conforto térmico aos animais de produção, reduzindo a frequência respiratória, a temperatura corporal e melhorando seu desempenho zootécnico (BROWN-BRANDL, 2018). Conforme observado por Giro *et al.* (2019), uma diminuição de 17% na carga térmica radiante pelo componente arbóreo em sistemas integrados, e relatado por Domiciano *et al.* (2020) entre 11% e 18%, permite ao gado maior tempo de ruminação, redução da temperatura corporal e longo tempo de ócio. A média da CTR observada à sombra da *C. brasiliense* ($486,7 \text{ W m}^{-2}$) está próxima do valor descrito por Mós *et al.* (2020) como ideal para o conforto térmico de matrizes suínas em sistema de criação ao ar livre ($491,9 \text{ W m}^{-2}$).

6.3 Sequestro de carbono

A biomassa acima do solo das árvores é grande responsável pelo sequestro de carbono, causado pela fotossíntese que leva à absorção de CO_2 atmosférico. Este é o processo de remoção de carbono da atmosfera, chamado de sequestro de carbono, definido pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC) como o dióxido de carbono atmosférico (CO_2) removido e armazenado.

Usando o estoque de carbono da biomassa de cada espécie de árvore, estimamos individualmente um sequestro médio de dióxido de carbono de $8,85 \text{ Mg ind}^{-1}$ (Tabela 3). Esperava-se uma grande diferença de biomassa entre as espécies decíduas e semidecíduas deste estudo (*P. emarginatus* e *C. brasiliense*, respectivamente) devido à sazonalidade do clima do cerrado e sua fenologia; no entanto, seus resultados não diferiram (Figura 13). Esses achados, comparados com o valor médio estimado do estoque de carbono acima do solo das savanas tropicais de mais de 30 Mg ha^{-1} (GRACE *et al.*, 2006), são interessantes e corroboram com o papel relevante que essas árvores do bioma têm no fluxo de carbono atmosférico e terrestre.

Nossos resultados foram inferiores quando comparados aos dados de biomassa de árvores nativas em diferentes fisionomias do cerrado brasileiro, relatados na revisão de Miranda *et al.* (2016), de 98 Mg ha^{-1} para cerradão e 58 Mg ha^{-1} para cerrado típico, exibindo um valor maior de sequestro de CO_2 de $179,0$ e $106,4 \text{ Mg ha}^{-1}$, respectivamente, calculado com o mesmo fator

de conversão do nosso estudo (3,67). A principal razão para essa diferença é a área amostral (densidade arbórea) e a heterogeneidade do bioma desses estudos, embora corrobore com a importância da densidade e diversidade de espécies arbóreas para aumentar o carbono sequestrado (NAIR *et al.*, 2010).

O sequestro de carbono pela biomassa das árvores está diretamente relacionado à perda de água por evaporação no ambiente devido à abertura estomática que difunde o vapor de água para fora, enquanto o dióxido de carbono se difunde para a folha (GATES, 1980). A temperatura foliar do nosso estudo comprova esse processo (Figura 10), que pode causar estresse hídrico para essas espécies, principalmente no que diz respeito aos efeitos futuros estimados do aquecimento global nos biomas. No entanto, Souza *et al.* (2016) avaliaram a resposta de algumas espécies de árvores do cerrado brasileiro, incluindo *S. lycocarpum*, atmosferas com níveis elevados de CO₂ e estresse hídrico e relataram que, mesmo nessas condições, as espécies se desenvolveram melhor devido à sua capacidade natural de acumular grandes quantidades de biomassa. Estas espécies de árvores de savana são hábeis em absorver CO₂ de forma mais eficiente da atmosfera, o que é indiscutivelmente benéfico em sistemas silvipastoris caracterizados por altas concentrações de carbono. Esses resultados combinados são achados relevantes que sustentam a diversidade de espécies arbóreas, principalmente quando se considera possíveis cenários de seca causados por mudanças climáticas.

O estoque de biomassa e o sequestro de carbono em nosso estudo de espécies arbóreas nativas também corroboram com trabalhos anteriores de Souza *et al.* (2020), que avaliou o potencial de diferentes povoamentos de árvores nativas. Isso incluiu árvores do bioma Cerrado na recuperação de terras degradadas e aumentou o acúmulo de biomassa e o sequestro de carbono. Assim, podemos propor adequadamente estratégias de reflorestamento com essas espécies de árvores nativas. O potencial de reflorestamento em terras degradadas em sistemas agroflorestais aliado ao aumento do estoque de carbono é confirmado por Chiemela *et al.* (2018).

Nossos resultados contribuem para uma nova compreensão do potencial de sequestro de carbono de espécies arbóreas nativas do Cerrado, que podem promover projetos de florestamento e reflorestamento além daqueles de sistemas agroflorestais para a mitigação das mudanças climáticas, como opções de sumidouros de CO₂.

7 CONCLUSÕES

Este estudo preliminar, baseado nos dados microclimáticos de quatro diferentes árvores nativas do bioma Cerrado durante o verão, demonstra o potencial de sua sombra para reduzir a temperatura do ar e a Carga de Calor Radiante ligada ao sequestro de dióxido de carbono. Portanto, isso demonstra a importância de sua conservação e implantação em sistemas agroflorestais, principalmente em climas tropicais, como forma de proporcionar conforto térmico e bem-estar aos animais, além de contribuir para a sustentabilidade.

A espécie *C. brasiliense* apresenta maior potencial de aplicação benéfica em sistemas agroflorestais em comparação com as demais espécies arbóreas nativas, devido à redução da Carga Térmica Radiante, da temperatura do ar e da temperatura do solo.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLAH, F.; CHAIEB, M. The influence of trees on nutrients, water, light availability and understorey vegetation in an arid environment. *Applied Vegetation Science*, v. 15, n. 4, p. 501–512, 2012.

ABREU, R. C. R. *et al.* The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. *Science Advances*, v. 3, n. 8, p. e1701284, ago. 2017.

ALMEIDA, M. C. *et al.* Cold-seeking behavior as a thermoregulatory strategy in systemic inflammation. *The European journal of neuroscience*, v. 23, n. 12, p. 3359–67, 2006.

ALVARES, C. A. *et al.* Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ALVES, F.V., NICODEMO, M.L.F., PORFÍRIO-DA-SILVA, V. Bem-estar animal em sistemas em integração lavoura- pecuária-floresta. In: *Integração Lavoura-Pecuária-Floresta*, [s. , pp. 274–289]: s.n.] 2015.

DE ANDRADE, L. R. M. *et al.* Al-hyperaccumulator Vochysiaceae from the Brazilian Cerrado store aluminum in their chloroplasts without apparent damage. *Environmental and Experimental Botany*, v. 70, n. 1, p. 37–42, 1 jan. 2011.

ARMSON, D.; STRINGER, P.; ENNOS, A. R. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, v. 11, n. 3, p. 245–255, jan. 2012.

BARRETO, C. D. *et al.* Infrared thermography for evaluation of the environmental thermal comfort for livestock. *International Journal of Biometeorology*, v. 64, n. 5, p. 881–888, 9 mar. 2020.

BROWN-BRANDL, T. M. Understanding heat stress in beef cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 47, n. 0, 29 nov. 2018.

BROOM, D.M. A history of animal welfare science. *Acta Biotheoretica* n.59, p.121–137. 2011.

BUCKLEY, L. B.; HUEY, R. B. How Extreme Temperatures Impact Organisms and the Evolution of their Thermal Tolerance. *Integrative and Comparative Biology*, v. 56, n. 1, p. 98–109, 28 abr. 2016.

BURRELL, A. L.; EVANS, J. P.; DE KAUWE, M. G. Anthropogenic climate change has driven over 5 million km² of drylands towards desertification. *Nature Communications*, v. 11, n. 1, p. 3853, 31 jul. 2020.

ÇENGEL, Y. A.; GHAJAR, A. J. Heat and mass transfer: fundamentals & applications. 6. ed. New York, Ny: Mcgraw-Hill Education, 2020.

- CHIEMELA, S. N. *et al.* Conversion of degraded agricultural landscapes to a smallholder agroforestry system and carbon sequestration in drylands. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, v. 10, n. 3, p. 472–487, 21 maio 2018.
- CLERICI, M. T. P. S. *et al.* Physical, chemical and technological characteristics of *Solanum lycocarpum* A. St. - HILL (Solanaceae) fruit flour and starch. *Food Research International*, v. 44, n. 7, p. 2143–2150, ago. 2011.
- COLLIER, R. J.; COLLIER, J. L. *Environmental physiology of livestock*. Ames, Iowa: Wiley-Blackwell, 2012.
- COLLIER, R. J.; GEBREMEDHIN, K. G. Thermal Biology of Domestic Animals. *Annual Review of Animal Biosciences*, v. 3, n. 1, p. 513–532, 16 fev. 2015.
- DA SILVA, R. G.; GUILHERMINO, M. M.; DE MORAIS, D. A. E. F. Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture. *International Journal of Biometeorology*, v. 54, n. 1, p. 5–11, 1 jan. 2010.
- DENIZ, M. *et al.* High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. *International Journal of Biometeorology*, v. 63, n. 1, p. 83–92, 19 nov. 2019.
- DIAS, L. C. P. *et al.* Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. *Global Change Biology*, v. 22, n. 8, p. 2887–2903, 12 maio 2016.
- DOMICIANO, L. F. *et al.* Agroforestry systems: an alternative to intensify forage-based livestock in the Brazilian Amazon. *Agroforestry Systems*, v. 94, n. 5, p. 1839–1849, 14 maio 2020.
- ESMAY, M. L. *Principles of animal environment*. 2. ed. Nova Iorque, NY, USA: Avi Publishing, 1983.
- FAO, Food. "The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050." Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2018.
- FRANK-DE-CARVALHO, S.M., SOMAVILLA, N.S., MARCHIORETTO, M.S., BÁO, S.N. Plant structure in the Brazilian neotropical savannah species. *Biodiversity in Ecosystems—Linking Structure and Function*, pp. 425–459. 2015.
- FRANCO, A. C.; MATSUBARA, S.; ORTHEN, B. Photoinhibition, carotenoid composition and the co-regulation of photochemical and non-photochemical quenching in neotropical savanna trees. *Tree Physiology*, v. 27, n. 5, p. 717–725, 1 maio 2007.
- GATES, D. M. *Biophysical Ecology*. [s.l.] Courier Corporation, 1980.
- GIRO, A. *et al.* Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. *Science of The Total Environment*, v. 684, p. 587–596, 20 set. 2019.

GOMES, L.; MIRANDA, H. S.; BUSTAMANTE, M. M. DA C. How can we advance the knowledge on the behavior and effects of fire in the Cerrado biome? *Forest Ecology and Management*, v. 417, p. 281–290, 15 maio 2018.

GONÇALVES, D. J. P.; ROMERO, R.; YAMAMOTO, K. Vochysiaceae no Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia*, v. 64, p. 863–875, 1 dez. 2013.

GRACE, J. *et al.* Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *Journal of Biogeography*, v. 33, n. 3, p. 387–400, mar. 2006.

HOFMANN, G. S. *et al.* The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. *Global change biology*, v. 27, n. 17, p. 4060–4073, 2021.

HARVEY W. R.. *Least-squares Analysis of Data with Unequal Subclass Numbers*. [s.l: s.n.]. 1960

IPCC. AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014 — IPCC. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>>. 2014

IPCC. Climate change 2021: The physical science basis. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>>. Acesso em: 26 jul. 2023.

JOLLY, W. M. *et al.* Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nature Communications*, v. 6, n. 1, 14 jul. 2015.

JONES, H. G. *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

KARVATTE, N. *et al.* Infrared thermography for microclimate assessment in agroforestry systems. *Science of The Total Environment*, v. 731, p. 139252, 20 ago. 2020.

KARVATTE, N. *et al.* Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. *International Journal of Biometeorology*, v. 60, n. 12, p. 1933–1941, 14 maio 2016.

KELLY, C.F., BOND, T.E., YECK, R.G., MCDOWELL, R.E., DOUGHERTY, R.W., HAZEN, T.E., WILSON, W.O.,. *A guide to environmental research on animals. Bioclimatic Factors and Their Measurement*. National Academy of Sciences, Washington, De, p. 42. 1971.

KINGMA, B. R. *et al.* Beyond the classic thermoneutral zone: Including thermal comfort: Including thermal comfort. *Temperature (Austin, Tex.)*, v. 1, n. 2, p. 142–149, 2014.

KOPPEN, W. *Climatología. Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Economica, México 478 p. 1948

KNIGHT, A.; PHILLIPS, C.; SPARKS, P. *Routledge handbook of animal welfare*. 1. ed. London, England: Routledge, 2022

LAMBERS, H.; OLIVEIRA, R. S. *Plant Physiological Ecology*. Cham: Springer International Publishing, 2019.

LEITE, G. L. D. *et al.* Architectural diversity and galling insects on Caryocar brasiliense trees. *Scientific Reports*, v. 7, n. 1, p. 16677, 30 nov. 2017.

LETCHER, T. M. Why do we have global warming? *Managing Global Warming*, p. 3–15, 2019.

LIPPER, L. *et al.* Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, v. 4, n. 12, p. 1068–1072, 26 nov. 2014.

LITTELL, R. C.; STROUP, W. W.; FREUND, R. J. *SAS for linear models*. Editorial: Cary, Nc, Usa: Sas Institute, 2002.

LIU, Z. *et al.* The effect of trees on human energy fluxes in a humid subtropical climate region. *International Journal of Biometeorology*, v. 64, n. 10, p. 1675–1686, 8 jul. 2020.

LORENZI, H.; MATOS, F. J. A. *Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas*. 2002.

MADER, T. L. BILL E. KUNKLE INTERDISCIPLINARY BEEF SYMPOSIUM: Animal welfare concerns for cattle exposed to adverse environmental conditions1. *Journal of Animal Science*, v. 92, n. 12, p. 5319–5324, 1 dez. 2014.

MAIA, A. S. C.; DASILVA, R. G.; BATTISTON LOUREIRO, C. M. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *International Journal of Biometeorology*, v. 50, n. 1, p. 17–22, 29 abr. 2005.

MARCILLAC-EMBERTSON, N. M. *et al.* Effects of shade and sprinklers on performance, behavior, physiology, and the environment of heifers. *Journal of Dairy Science*, v. 92, n. 2, p. 506–517, fev. 2009.

MCARTHUR, A. J. Thermal resistance and sensible heat loss from animals. *Journal of Thermal Biology*, v. 6, n. 1, p. 43–47, jan. 1981.

MENEZES, R. S. C.; SALCEDO, I. H.; ELLIOTT, E. T. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semiarid northeastern Brazil. *Agroforestry Systems*, v. 56, n. 1, p. 27–38, 2002.

MIRANDA, E. *et al.* Long-Term Changes in Soil Carbon Stocks in the Brazilian Cerrado Under Commercial Soybean. *Land Degradation & Development*, v. 27, n. 6, p. 1586–1594, 10 fev. 2016.

MITCHELL, D. *et al.* Revisiting concepts of thermal physiology: Predicting responses of mammals to climate change. *Journal of Animal Ecology*, v. 87, n. 4, p. 956–973, 30 mar. 2018.

MÓS, J. V. DO N. *et al.* Thermal comfort of sows in free-range system in Brazilian Savanna. *Journal of Thermal Biology*, v. 88, p. 102489, 1 fev. 2020.

- MOSQUERA-LOSADA, M. R.; FREESE, D.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A. Carbon Sequestration in European Agroforestry Systems. *Advances in Agroforestry*, p. 43–59, 2011.
- MOTA-ROJAS, D. et al. Physiological and behavioral mechanisms of thermoregulation in mammals. *Animals: an open access journal from MDPI*, v. 11, n. 6, p. 1733, 2021.
- NAIR, P.R., NAIR, V.D., KUMAR, B.M., SHOWALTER, J.M. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Adv. Agron.* 108, 237–307. 2010
- NAOREM, A.; MACHIWAL, D. (EDS.). Enhancing resilience of dryland agriculture under changing climate: Interdisciplinary and convergence approaches. Singapore: Springer Nature Singapore, 2023.
- NAPOLI, M. *et al.* Modeling Tree Shade Effect on Urban Ground Surface Temperature. *Journal of Environmental Quality*, v. 45, n. 1, p. 146–156, jan. 2016.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC). Guide for the Care and Use of Laboratory Animals. Washington, D.C.: National Academies Press, 2011.
- NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA); Global monitoring laboratory. Trends in atmospheric carbon dioxide. - carbon cycle greenhouse gases, 2019.
- NIELSEN D. S.; ANDERSON, R. R. Infrared Thermometry to Measure single Leaf Temperatures for Quantification of Water Stress in Sunflower. v. 81, n. 5, p. 840–842, 1 set. 1989.
- OLIVEIRA, C. *et al.* Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. *Agroforestry Systems*, v. 92, n. 6, p. 1659–1672, 23 fev. 2018.
- PENMAN, J. *et al.* Intergovernmental Panel on Climate Change Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_files/GPG_LULUCF_FULL.pdf>. 2003.
- PEZZOPANE, J. R. M. *et al.* Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. *Journal of Thermal Biology*, v. 79, p. 103–111, jan. 2019.
- PINHEIRO. Análises ecológicas e sensoriamento remoto aplicados à estimativa de fitomassa de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP. Universidade de São Paulo. 2008
- POMMERENING, A.; GRABARNIK, P. Individual-based methods in forest ecology and management. 1. ed. Cham, Switzerland: Springer Nature, 2020.
- RABELING, S. C. *et al.* Seasonal variation of a plant-pollinator network in the Brazilian Cerrado: Implications for community structure and robustness. *PLOS ONE*, v. 14, n. 12, p. e0224997, 2 dez. 2019.
- RAJ, A. *et al.* Climate Change and Agroforestry Systems. [s.l.] CRC Press, 2020.

RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinburgh Journal of Botany*, v. 60, n. 1, p. 57–109, 10 mar. 2003.

RHOADES, C. C. Single-tree influences on soil properties in agroforestry: lessons from natural forest and savanna ecosystems. *Agroforestry Systems*, v. 35, n. 1, p. 71–94, fev. 1996.

RIEK, A.; GEISER, F. Allometry of thermal variables in mammals: consequences of body size and phylogeny. *Biological Reviews*, v. 88, n. 3, p. 564–572, 10 jan. 2013.

ROHLI, R. V.; VEGA, A. J. *Climatology*. Burlington, Massachusetts: Jones & Bartlett Learning, 2018.

SALGADO, A. *et al.* Semi-humid: The Landscape of Central Brazil. p. 93–117, 1 jan. 2019.

SANO, E. E. *et al.* Cerrado ecoregions: A spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *Journal of Environmental Management*, v. 232, p. 818–828, 15 fev. 2019.

SCHEFFERS, B. R. *et al.* The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science*, v. 354, n. 6313, p. aaf7671, 10 nov. 2016.

SCHÜTZ, K. E. *et al.* The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 93, n. 1, p. 125–133, jan. 2010.

SILVA, R. G. DA. Predição da configuração de sombras de árvores em pastagens para bovinos. *Engenharia Agrícola*, v. 26, n. 1, p. 268–281, abr. 2006.

DA SILVA, R.; MAIA, A. *Principles of Animal Biometeorology*. [s.l.] Dordrecht Springer Netherlands, 2013.

SOLARGIS.com, 2019. [Online]. Overview. Disponível em: <<https://solargis.com/maps-and-gis-data/overview>>. Acesso em: 21 jun. 2023

SOUZA, J. P. *et al.* Responses of woody Cerrado species to rising atmospheric CO₂ concentration and water stress: gains and losses. *Functional Plant Biology*, v. 43, n. 12, p. 1183, 2016.

DE SOUZA, M. T. P. *et al.* Growth of native forest species in a mixed stand in the Brazilian Savanna. *Forest Ecology and Management*, v. 462, p. 118011, abr. 2020.

SPEAKMAN, J. R. *Thermoregulation in Vertebrates: Acclimation, Acclimatization and Adaptation*. eLS, 25 abr. 2001.

STRASSBURG, B. B. N. *et al.* Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*, v. 1, n. 4, 23 mar. 2017.

VAN LAER, E. *et al.* Importance of outdoor shelter for cattle in temperate climates. *Livestock Science*, v. 159, p. 87–101, jan. 2014.

WEST, P. W. Tree and Forest Measurement. [s.l: s.n.]. 163p. 2015.

OIE. Terrestrial code online access. Disponível em: <<https://www.woah.org/en/what-we-do/standards/codes-and-manuals/terrestrial-code-online-access/>>. Acesso em: 14 jul. 2022.

YAHAV, S., 2015. Regulation of body temperature: strategies and mechanisms. *Sturkie's Avian Physiology*. Academic Press, p. 869–905.

APÊNDICE

Apêndice A – Artigo

Science of the Total Environment 845 (2022) 157324



Contents lists available at ScienceDirect

Science of the Total Environment

journal homepage: www.elsevier.com/locate/scitotenv



The potential of natural shade provided by Brazilian savanna trees for thermal comfort and carbon sink



Bruno Emanuel Teixeira^a, Sheila Tavares Nascimento^{a,f,*}, João Victor do Nascimento Mós^a, Evandro Menezes de Oliveira^b, Vinicius Machado dos Santos^c, Alex Sandro Campos Maia^d, Vinicius de França Carvalho Fonsêca^{d,e}, Bárbara Martins Passos^a, Luci Sayori Murata^a

^a Faculty of Agronomy and Veterinary Medicine, University of Brasília, Darcy Ribeiro Campus, Brasília, Federal District 70910-900, Brazil

^b Animal Science Department, State University of Maringá, Colombo Avenue, 5790, Maringá, Paraná 87020-900, Brazil

^c Federal Institute of Brasília, Planaltina Campus, DF 128 Road, km 21, Planaltina, Brasília 73380-900, Brazil

^d Innovation Group of Thermal Comfort and Animal Welfare (INOBIO-MANERA), Biometeorology Laboratory, São Paulo State University, Prof. Paulo Donato Castellane Access Route w/n, Jaboticabal, São Paulo 14884-900, Brazil

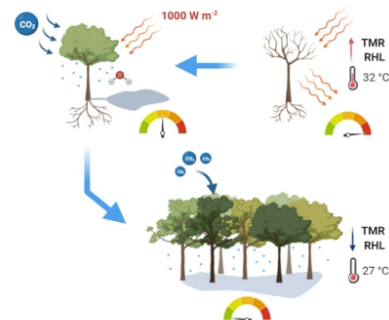
^e Animal Biometeorology and Ethology Group (BIOET), Department of Animal Science, Federal University of Paraíba, PB-079 Road, 12, Areia, Paraíba 58397-000, Brazil

^f Innovation Group of Thermal Comfort and Animal Welfare (INOBIO - MANERA), State University of Maringá, Colombo Avenue, 5790, Maringá, Paraná 87020-900, Brazil

HIGHLIGHTS

- Shade from native trees improves thermal comfort in the Cerrado microclimate.
- Shade from *C. brasiliense* provides the best air, heat load, and reduction in ground temperature.
- Native species have efficient carbon dioxide uptake and potential to agroforestry systems apply.
- Native tree species show a resilience to the impacts of climate change.
- Implementation of trees biodiversity favors thermal comfort in the Cerrado.

GRAPHICAL ABSTRACT



ARTICLE INFO

Editor: Kuishuang Feng

Keywords

Cerrado
Agroforestry
Radiant heat load
Heat alleviation
CO₂ uptake

ABSTRACT

This study looked at the potential of thermal comfort provided to animals by four different Brazilian savanna (Cerrado) native trees, as well as their potential for carbon sink. The evaluations were carried out during the summer of 2020, which consisted of the collection of microclimate variables. The Mean Radiant Temperature (TMR, °C) was derived from the shaded and unshaded areas under the trees, and from that, the Radiant Heat Load (RHL, W m⁻²) was calculated as an index of thermal comfort. Solar radiation was estimated considering the sum of the direct, diffuse, and reflected components (W m⁻²), and carbon stock from trees biomass for CO₂ sequestration was estimated from an allometric model applied to the native Cerrado tree species. The shade of the native trees reduced the meteorological variables such as dry bulb and black globe temperatures, to values considered adequate for the thermal comfort of animals, with an average reduction respectively equal to 1.3 °C and 6.4 °C. This represents a significant difference compared to the unshaded area as well as among tree species ($P < 0.05$), reflecting in lower values of TMR and RHL in the

* Corresponding author at: Innovation Group of Thermal Comfort and Animal Welfare (INOBIO - MANERA), State University of Maringá, Colombo Avenue, 5790, Maringá, Paraná 87020-900, Brazil.

E-mail address: stnascimento@uem.br (S.T. Nascimento).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157324>

Received 21 February 2022; Received in revised form 2 June 2022; Accepted 8 July 2022

Available online 14 July 2022

0048-9697/© 2022 Elsevier B.V. All rights reserved.

shaded area provided by each species. Carbon sequestration individually estimated by each native tree species was on average 8.85 Mg per tree. These results demonstrate the great potential for native tree species in the Cerrado biome to be used in agroforestry systems to provide higher levels of thermal comfort to animals and to combat climate change through their aptitude of CO₂ sink.

1. Introduction

Global warming is one of the most worrying issues, from both current and future perspectives. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2014) reported that due to an increase in the concentration of carbon dioxide (CO₂) and other greenhouse gases (GHGs) in the atmosphere, the average global temperature will likely increase by 2 °C to 4 °C, depending on emission rates. This has the potential to change global climate patterns and have several effects on the environment, such as causing the degradation and desertification of drylands ecosystems, which will affect biodiversity along with millions of people who live in these ecosystems.

Climate change is mainly occurring in developing countries where the economy is highly dependent on agriculture and livestock activities (Burrell et al., 2020), and deforestation is conducted in an indiscriminate way. Climate change causes an alteration in the ecology of animals and plants as well as a loss in biodiversity, as observed in savanna biomes, like the Brazilian Savanna (Cerrado), where the effects of global warming are dramatically raising the number of wildfires (Jolly et al., 2015; Letcher, 2019; Scheffers et al., 2016). These issues increase the need for further research in order to develop strategies to combat global warming and sustainably improve the management of agricultural activities and ecosystems within agroforestry.

The implementation of agroforestry systems is one of the greatest strategies to mitigate the effects of climate change. Some systems, such as the reforestation of pastures and the recovery of degraded lands, act as climate-smart agriculture tools to improve carbon sequestration and storage in the biomass of the trees. According to the Paris Agreement, this strategy is an alternative to removing atmospheric carbon, thereby limiting global warming to no >1.5 °C (UNFCCC, 2015; Lipper et al., 2014). Implementing agroforestry systems is necessary in order to combat desertification and soil erosion, improve food safety for non-timber forest products (NTFPs) such as fruits and livestock, and generate renewable energy from timber products, such as biofuels (Raj et al., 2020; Mosquera-Losada et al., 2011).

These systems have been adopted in the tropics due to the great diversity of native tree species (Raj et al., 2020). Therefore, it is necessary to understand the potential of these trees as shading resources to improve the thermal comfort of livestock. In addition, because of their microclimate adjustment abilities, these native trees can also aid in mitigating the effects of global warming and carbon sink, mainly in the tropical climates and biomes where these activities are been widely conducted, such as the Cerrado. The Cerrado is the richest savanna biome in terms of biodiversity with several endemic vertebrates and plant species. It represents nearly 21 % of Brazil and is greatly subjected to agricultural activities and livestock farming expansion (Sano et al., 2019). Between 2006 and 2012, this region suffered an estimated loss of area by approximately 24 %, which, in combination with a high number of wildfires, has led to changes in the region's dynamics (Dias et al., 2016; Strassburg et al., 2017).

Studies in the Cerrado have been carried out by Karvatte et al. (2016), Karvatte Jr. et al. (2020), Oliveira et al. (2018), Barreto et al. (2020), and Mós et al. (2020) using agroforestry systems to assess the microclimate of shade from trees in relation to the thermal comfort of livestock. Their results reveal how some native trees are an important way to promote thermal comfort to animals managed in this environment by reducing the radiant heat load and favoring animal welfare. However, there is a lack of knowledge regarding how the various physiological parameters of these native trees may also contribute to the microclimate adjustment when incorporated into livestock production systems in pastures. Some of these parameters include leaf temperature, the effect of species biodiversity from different morphological aspects such as the shaded area size, as well

as carbon sequestration, which has the potential to be used as a tool to mitigate the effects of global warming and improve sustainability.

Therefore, this study aims to explore the potential of different Cerrado native tree species to improve the thermal comfort of animals through shade, as well as to explore the physiological parameters and aptitude for carbon sequestration of these tree species, in hopes of contributing to the greater understanding and knowledge in regards to the implementation and preservation of agroforestry systems.

2. Material and methods

2.1. Location and research design

The experiment was conducted in the Brazilian savanna (Cerrado) on “sensu stricto” physiognomy, at the Água Limpa Farm owned by the University of Brasília (UnB), DF, Brazil midwestern (Fig. 1a), with respective geographic coordinates (15° 47' S, 47° 56' W) and altitude of 1080 m. Água Limpa farm is located in the intertropical zone, where the direct solar radiation has daily averages higher than 1000 W m⁻² in summer seasons (Solargis.com, 2019). The climate pattern of Brazil's midwestern region, based on the Köppen-Geiger climate system subtype, is “Aw”, tropical savanna (Köppen, 1948; Alvares et al., 2013), described as having two defined seasons; dry winters and rainy summers. However, in the winter, the solar radiation can also be severe, and the rainfall, the relative air humidity, the maximum and minimum air temperatures, and the wind speed annual averages are respectively; 1500 mm, 68 % which is reduced to <15 % in the driest months, 14 °C and 33 °C, 1,5 m s⁻¹ (Salgado et al., 2019; Rabeling et al., 2019; Rohli and Vega, 2018).

The evaluations were made for 11 non-consecutive days (08:30 h to 16:30 h) in the summer of 2020, which is the season with the highest radiation levels, within the biome conservation area with a total area of 2.5 ha (Fig. 1b). Paddocks with the presence of different native trees species of the Brazilian Savanna were selected by crown shape as previously described by Silva and Maia (2013), with typical morphological adaptations such as contorted trunks and branches with chunky fire-resistant bark otherwise known as pyrophytes (Gomes et al., 2018; Fank-de-Carvalho et al., 2015). Four native tree species were selected that are commonly found in the Cerrado biome as shown in the area sampling made by Ratter et al. (2003), respectively with their crown shapes: *Vochysia thyrsoidea* (inverse conic), *Caryocar brasiliense* (lentic-shaped), *Solanum lycocarpum* (lentic-shaped) and *Pterodon emarginatus* (spherical crown). A summary of all the methodologies adopted in this research study is presented in Table 1.

2.2. Tree species data

The physical dimensions of each native tree were measured once each month at noon to estimate the shaded area and proportion, from equations specific to arboreal species in tropical regions, featuring the crown morphology, total height, trunk height, vertical and horizontal crown radius, and diameter at breast height (DBH), as proposed by Silva (2006). The tree and trunk heights for each one of the trees were measured by the geometric method described by West (2015), where a body with known length is vertically positioned at the base of the tree. The estimation of the horizontal radius of the crown tree was done using the Google Earth® ruler tool and the vertical radius was measured using the same method described for the tree trunk height. The DBH was collected with the aid of a girth tape 1.3 m above the ground over the tree stem (Pommerening and Grabarnik, 2019). The data is shown in Table 2.

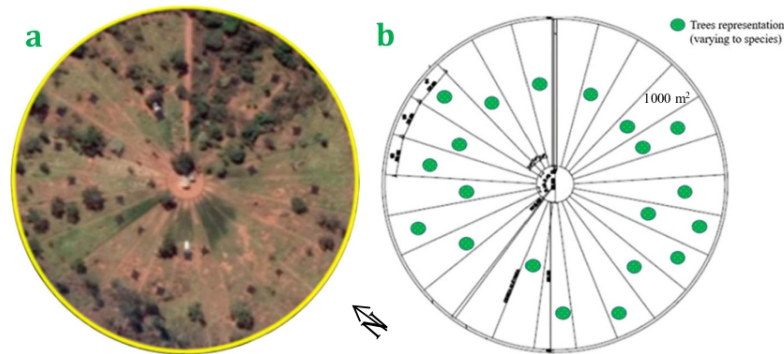


Fig. 1. Site area illustrated on a: satellite aerial photography (Image from Google Earth), b: schematic sketch showing the radial design of the sector and location of Brazilian savanna tree species scattered in the paddocks of Água Limpa Farm, UnB, DF, Brazil.

Table 1

Methodology summarization.

Goals	Equipment/method	Variables
Physical dimensions of the trees to estimate the shaded area and carbon sequestration.	Geometric method, Ruler tool by Google Earth, and girth tape.	Height, trunk height, vertical and horizontal crown radius, and diameter at breast height (DBH) of all trees.
Leaf surface temperature (°C adaxial (outer) and abaxial (inner)).	Infrared thermometer (model TD-960, ICEL®), 5 cm close to the leaves avoiding shade, performed in 30-minute intervals.	Leaf surface temperature (°C).
Dry (air temperature, T_A , °C), wet bulb (T_{WB} , °C) and black globe temperatures from the shade of the trees and unshaded area.	Black globe thermometer (model Protep-2, Criffer®), following the shadow prediction and displacement, 1 m above the ground, performed in 10-minute interval from 08:30 to 16:30.	Dry (air temperature, T_A , °C), wet bulb (T_{WB} , °C) and black globe temperatures.
Relative humidity (RH, %) and wind speed (W_s , $m s^{-1}$).	RH was calculated from the wet and dry-bulb temperatures; W_s was collected by the automatic weather station (Vaisala®, RW1200), located 900 m from the experimental area, collected in 10-minute interval.	Relative humidity and wind speed.
Short-wave radiation	Calculated for all 12 months of the year according to Da Silva et al. (2010).	(q_{rad} , $W m^{-2}$).
Soil surface temperature covered by tree shade and unshaded area.	Infrared Thermometer (model TD-960, ICEL®) performed in 30-minute interval, perpendicular to the solar radiation beams.	Shaded soil surface (T_{GS} , °C) and the unshaded soil surface temperature (T_{GU} , °C).
Mean Radiant Temperature (TMR, °C) and Radiant Heat Load (RHL, $W m^{-2}$).	TMR was calculated from the black globe temperature (T_G , °C), thereby RHL was calculated as proposed by Da Silva and Maia (2013).	TMR, °C and RHL, $W m^{-2}$.
Carbon sink estimation	Calculated by biomass allometric equation using DBH and height data, considering the DBH, height and density.	Carbon and carbon dioxide (CO_2).

The surface temperature of the leaves (°C) as well as the temperature of adaxial (outer) and abaxial (inner) sides were measured in each one of the selected native trees species, with the aid of an infrared thermometer (model TD-960, ICEL®) held 5 cm close to the leaves while avoiding shaded areas (Nielsen and Anderson, 1989) at 30-minute intervals.

Information on the four evaluated native tree species can be seen in Fig. 2. *C. brasiliense*, local name: Pequi, belongs to the Caryocaraceae family, and is protected by Brazilian laws. The trees are capable of reaching over 10 m in height and 6 m in width (Leite et al., 2017). It has a semi-deciduous foliar phenology (partial loss of leaves in the winter season), and its leaves are petiolate, trifoliolate, opposite and coriaceous. Each leaflet has penninerved venation and usually serrate margins (Lorenzi and Matos, 2008).

V. thyrsoidea, local name: Gomeira, Vochysiaceae family, is a perennial species, and can reach a height of 15 m. The leaves are glabrous and coriaceous with an attenuated base and revolute margins (Andrade et al., 2011; Gonçalves et al., 2013).

P. emarginatus, local name: Sucupira, Fabaceae family, is a deciduous tree, so its leaves fall in the winter and sprout in spring. It can reach up to 10 m in height, and it has pubescent and glabrous leaves with emarginate leaflets apices (Lorenzi and Matos, 2002).

S. lycocarpum, local name: Lobeira or Fruto-do-lobo, is a small perennial tree, with an average peak of 5 m in height. It has simple, alternate, and coriaceous leaves, which are white tomentose on the inner surface, with lobed margins (Clerici et al., 2011).

2.3. Microclimate and thermal comfort data

The collection of dry (air temperature, T_A , °C), wet bulb, (T_{WB} , °C) and black globe temperatures from the shade of the trees and unshaded area (°C) were done with the aid of a black globe thermometer (model

Table 2

Physical parameters of Brazilian savanna tree species.

Species	<i>C. brasiliense</i>	<i>V. thyrsoidea</i>	<i>P. emarginatus</i>	<i>S. lycocarpum</i>
Parameters				
Crown shape	Lentil-shaped	Inverse conic	Spherical	Lentil-shaped
Total height (m)	6.05	11.24	10.38	3.50
Trunk height (m)	1.78	6.92	3.46	1.75
Crown radius 1 (m)	3.80	3.94	5.75	1.97
Crown radius 2 ^a (m)	3.90	^a	^a	2.12
DBH (cm)	26.73	34.37	35.33	14.32

^a Crown radius 2 was only measured for the lentil-shaped crown trees.

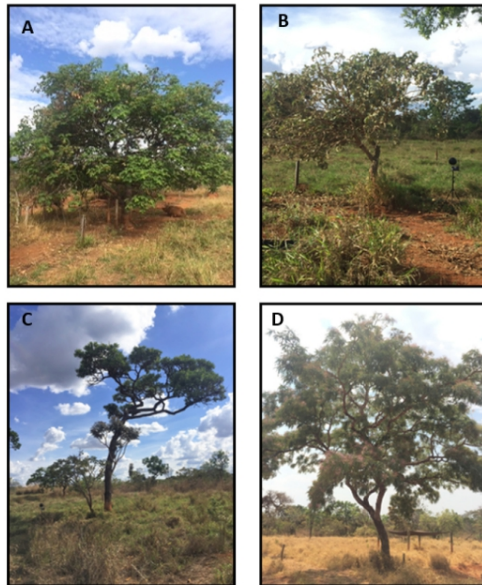


Fig. 2. Photographs of the evaluated native trees from the Brazilian Savanna. A: *Caryocarpus brasiliense*; B: *Solanum lycocarpum*; C: *Vochysia thyrsoidea*; D: *Pterodon emarginatus*.

Protemp-2, Criffer®), following the shadow prediction and displacement throughout the experimental period (Fig. 3). The black globe thermometer was held 1 m above the ground, to assume the effects of environmental factors on the animals for 10-minute intervals from 08:30 to 16:30. The relative humidity (RH, %) was calculated from the wet and dry-bulb temperatures; the wind speed (W_s , $m\ s^{-1}$) was collected by the automatic weather station (Vaisala®, RW1200), located 900 m from the experimental area, in 10-minute intervals; and the short-wave radiation (q_{rad} , $W\ m^{-2}$) was calculated for all 12 months of the year according to Da Silva et al. (2010).

The soil surface temperature (without vegetation) covered by the shade of the trees (T_{GS} , °C) and the unshaded soil surface temperature (T_{GU} , °C) were measured with the aid of an Infrared Thermometer (model TD-960, ICEL®) for 30-minute interval, held perpendicular to the solar radiation beams as described by Marcillac-Emberson et al. (2009), Armson et al. (2012) and Napoli et al. (2016).

The Mean Radiant Temperature (TMR, °C) was calculated from the black globe temperature (T_G , °C) for each selected tree species in the unshaded and shaded areas. Thereby the Radiant Heat Load (RHL,

$W\ m^{-2}$) was as proposed by Silva and Maia (2013), and it was used to estimate the thermal comfort of animals in tropical conditions (Eqs. (1) and (2)).

$$TMR = \left[\frac{h_c(T_G - T_A) + \epsilon_G \sigma T_G^4}{\epsilon_G \sigma} \right]^{1/4}, \text{ K.} \quad (1)$$

where T_G (K) is the black globe temperature; h_c ($W\ m^{-2}\ K^{-1}$) is the convection coefficient of the black globe; T_A (°K) is the dry bulb temperature; $\epsilon_G = 0.95$ is the emissivity of black globe and $\sigma = 567,051 \cdot 10^{-8}\ W\ m^{-2}\ K^{-4}$ is the Stefan-Boltzmann constant.

$$RHL = \sigma \cdot TMR^4, \text{ W m}^{-2} \quad (2)$$

2.4. Carbon sink estimation

The estimation of carbon and carbon dioxide (CO_2) sequestered by the trees was calculated considering the biomass allometric equation (root and shoot include), from each individual tree's DBH and height data ($1\ tree\ ha^{-1};\ Mg\ ind.^{-1}$). The equation (Eq. (3)) was developed for Brazilian savanna tree species (Pinheiro, 2008) and applied by Abreu et al. (2017):

$$\text{Total biomass : } \ln(M) = -1,6516 + 0,7643 \cdot \ln(d^2 h) \quad (3)$$

where (M) is the estimated dry biomass, kg; (d) is the stem diameter, cm; and (h) is the height, m. The carbon mass was estimated considering the conversion factor of $0.5\ kg\ C\ kg^{-1}$ from the biomass, and the carbon dioxide (CO_2) from the stoichiometry of the CO_2 molecule and thus multiplying the carbon stock by the constant factor of 3.67 (Penman et al., 2003).

2.5. Statistical analysis

The data was statistically analyzed using SAS software (Statistical Analysis System version 9.2) according to Littell et al. (2002). This enabled the best distribution of data related to the normal pattern, organization of files, and statistics of analysis of variance, dispersion, association, and central tendency, based on the least squares method (Harvey, 1960). The comparison among the averages was performed using the Tukey test at 5% probability. The analysis of variance was performed using the statistical model:

$$Y_{ijk} = \mu + D_i + S_j + T_k + e_{ijk} \quad (4)$$

where Y_{ijk} is the i th observation of the meteorological variables studied; μ is the parametric mean; D_i is the effect of the i th day ($i = 1, \dots, 11$); S_j is the effect of the j -th schedule ($j = 8, \dots, 16$); T_k is the effect of the k th tree ($k = C. brasiliense, V. thyrsoidea, P. emarginatus, S. lycocarpum$); and e_{ijk} is the random error.

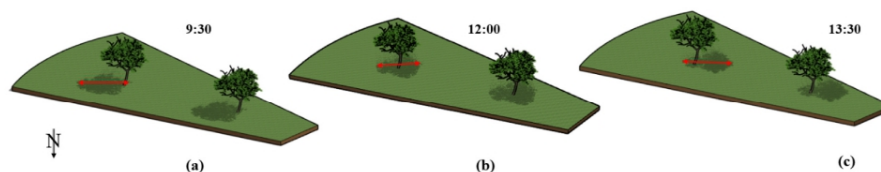


Fig. 3. Representative scheme of the shade position from native tree species at (a) 9:30 a.m., (b) noon, and (c) 1:30 p.m. in the paddocks of Águia Limpá Farm, UnB, DF, Brazil.

3. Results

3.1. Meteorological and microclimate variables

The average mean of total irradiance (SR, $W m^{-2}$) was $1170.9 W m^{-2}$, ranging between $732.9 W m^{-2}$ and $1432.2 W m^{-2}$. A significant difference was observed among the day hours ($P < 0.05$), and the highest average values were observed at noon and 13:00 h, respectively 1420.7 and $1389.6 W m^{-2}$ (Fig. 4).

The averages for the microclimate variables (T_A , RH, and black globe temperature T_G , °C) under the native tree species for shaded and unshaded areas did not show a statistical difference between the days ($P < 0.05$).

The average air temperature (T_A , °C) was 29.1 °C, reaching a minimum of 26.5 °C at 9:00 AM and a high of 30.2 °C between 11:00 h and 14:00 h (Fig. 5A). The average T_A in the shade of the trees was 28.5 °C, and a 1.3 °C mean reduction was observed compared to the unshaded area ($P < 0.01$). The exception was the shade of *C. brasiliense*, which displayed a 1.4 °C reduction compared to the other trees as well as a 2.2 °C reduction in the unshaded area. The T_A did not show a significant difference among the *V. thyrsoidea*, *P. emarginatus* or *S. lycocarpum* trees ($P > 0.05$; 28.8 ± 0.1 °C; 28.8 ± 0.1 °C; 28.8 ± 0.1 °C, respectively), nor the unshaded area (29.6 ± 0.9 °C). The wet-bulb temperature (T_{WB} , °C) and the relative air humidity (RH, %) achieved minimum values of 19.5 °C and 31.3 %, and the maximum values observed were 24 °C and 75.5 %, respectively. The mean values observed from the species *V. thyrsoidea*, *C. brasiliense*, *S. lycocarpum* and *P. emarginatus* were respectively 67.4 ± 0.4 %; 50.0 ± 0.5 %; 64.9 ± 0.4 %; 65.0 ± 0.4 %, and the unshaded area had a mean value of 39.2 ± 0.4 %. The *C. brasiliense* showed stability in RH values between 11:00 h and 14:00 h ($P > 0.05$) and as predicted the RH followed the T_A variation (Fig. 5B).

The RH from shading by *P. emarginatus*, *S. lycocarpum*, and *V. thyrsoidea* remained above 50 %, and did not show a statistical difference between them ($P > 0.05$), except for *S. lycocarpum* and *P. emarginatus* ($P = 0.001$). The *V. thyrsoidea* tree species achieved the highest values of RH, while the shade of *C. brasiliense* decreased by 23.4 % compared to the other tree species. In the unshaded area, the RH mean was 37.1 % lower than under the trees ($P > 0.99$; Fig. 5B).

The highest values for black globe temperature (T_G , °C) were observed at 11:30 h and 12:30 h with averages respectively of 37 °C and 35.1 °C, and with a statistical difference ($P < 0.05$) from the other schedules. The *S. lycocarpum* tree presented the highest value of T_G differing from the other trees ($P < 0.05$); *V. thyrsoidea* and *P. emarginatus* did not differ ($P >$

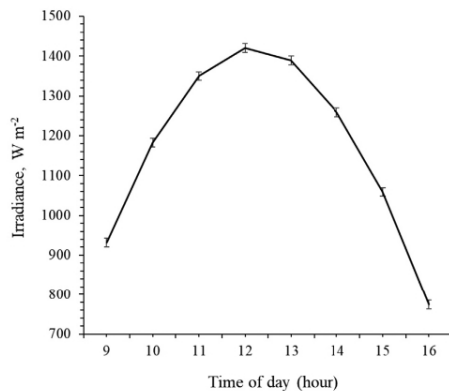


Fig. 4. Averages of the total irradiance (SR, $W m^{-2}$) according to the time of the day during the experimental period at Água Limpa Farm, UnB, DF, Brazil.

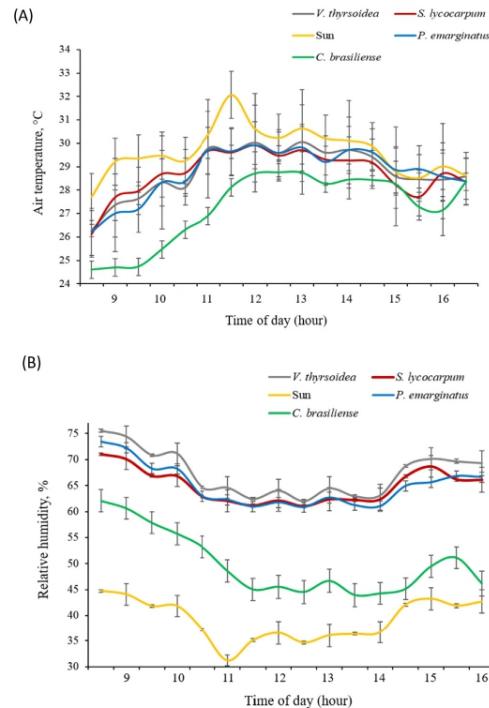


Fig. 5. Averages of air temperature T_A , °C (A) and relative humidity RH, % (B) for each tree species (*V. thyrsoidea*, *C. brasiliense*, *S. lycocarpum*, *P. emarginatus*, and unshaded place) throughout the day, from 8:30 h to 16:00 h.

0.05), and *C. brasiliense* presented the lowest value. In the warmest hour at 13:30 h, the wind speed (W_s , $m s^{-1}$) was close to $1.82 m s^{-1}$, with an average of $0.71 m s^{-1}$.

3.2. Soil surface and foliar temperature

The average temperature of the shaded soil was 26.4 °C, while the highest means were observed at midday (28.3 °C; Fig. 6). The *C. brasiliense* tree achieved the lowest shaded soil temperature (24.8 ± 0.2 °C), differing from the other trees ($P < 0.05$), *V. thyrsoidea*, *S. lycocarpum* and *P. emarginatus*, respectively of 27.3 °C \pm 0.2 , 27.1 °C \pm 0.2 and 27.0 °C \pm 0.1 . The unshaded soil did not present a statistical difference between the tree species ($P > 0.05$), and an average of 34.1 °C was observed. During the warmest hours, the *C. brasiliense* tree presented the highest unshaded soil temperatures with an average of 41.5 °C at midday; however, at the same time, the temperature of the soil protected by the shade was 27.2 °C, representing a difference of 14.3 °C between them (Fig. 6).

The abaxial (inner, 26.6 °C) and adaxial (upper, 26.8 °C) foliar temperatures did not present significant differences ($P > 0.05$) among the tree species, schedules or days. The temperatures were approximately 3 °C lower than T_A variation throughout the day (Fig. 7). The only significant difference ($P < 0.05$) was the adaxial surface temperature of *V. thyrsoidea* leaves at midday which differed from *C. brasiliense* and *S. lycocarpum* ($P < 0.05$), with an upper temperature of 30 °C. The temperature means of both abaxial and adaxial surface temperatures for *C. brasiliense*, *S. lycocarpum*,

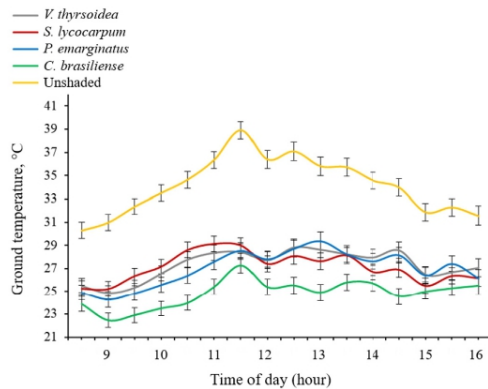


Fig. 6. The shaded soil surface ($^{\circ}\text{C}$) for each evaluated Brazilian savanna tree and unshaded soil surface temperatures ($^{\circ}\text{C}$) throughout the experimental period.

P. emarginatus and *V. thyrsoidea*, were respectively 26.4°C , 26.5°C , 26.7°C , and 27.3°C .

3.3. Thermal comfort indices

The average TMR for the shaded area of the trees was 33.7°C , 27.4% lower in comparison with the unshaded area (46.4°C). A significant difference among the days and schedules was observed ($P < 0.05$). Between 12:00 h and 13:00 h, the highest TMR averages were noted, 39.9 and 40.4°C respectively. The smallest mean value that was observed for *C. brasiliense*, $31.1 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$, significantly differed from the other species ($P < 0.001$) and remained stable across the schedules ($P > 0.05$). The

TMR of the other tree species *V. thyrsoidea*, *S. lycocarpum*, and *P. emarginatus* did not differ ($P > 0.05$), with the respective averages being $34.5 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$, $35.1 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ and $34 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ (Fig. 8).

The Radiant Heat Load differed among the days and schedules ($P < 0.05$). The observed means in the shade of the trees and in the unshaded area was respectively 503.6 W m^{-2} and 595.1 W m^{-2} , which corresponds to a reduction of 15.4% in RHL. The average from 12:00 h to 13:00 h of the unshaded area was 646.0 W m^{-2} and 520.5 W m^{-2} in the shade of the trees. The RHL did not differ ($P > 0.05$) among the tree species and the following means were observed: $509.2 \pm 2 \text{ W m}^{-2}$ for *V. thyrsoidea*, $513.1 \pm 2 \text{ W m}^{-2}$ for *S. lycocarpum*, $505.5 \pm 2 \text{ W m}^{-2}$ for *P. emarginatus* and $486.7 \pm 3 \text{ W m}^{-2}$ for *C. brasiliense*. At 13:00 h, the RHL of the unshaded area reached 657.1 W m^{-2} , 31.1% higher ($P < 0.05$) compared to the shade of *C. brasiliense* (501.3 W m^{-2} ; Fig. 8).

3.4. Shaded area

The shaded area ($\pm \text{SE}$, m^2) was estimated for *V. thyrsoidea*, *S. lycocarpum*, *C. brasiliense*, and *P. emarginatus* over the 12 months of the year at midday, which is the time that the highest irradiation incidence value was observed, corresponding to $53.6 \pm 1 \text{ m}^2$, $14.4 \pm 1 \text{ m}^2$, $51.1 \pm 1 \text{ m}^2$, and $114 \pm 1 \text{ m}^2$, respectively (Fig. 9). In the winter months, the RHL mean was 1057.3 W m^{-2} , and 1379.01 W m^{-2} during the summer.

The *C. brasiliense* and *V. thyrsoidea* species have different foliar phenologies, classified as semi-deciduous (with partial loss of leaves in the winter) and perennial (with no loss of leaves) respectively, and the shaded area did not differ along the year ($P = 0.44$). The exception was during the drought months (from May to September). The *P. emarginatus* is classified as a deciduous tree (with total loss of leaves in the winter) with a spherical crown shape and presented the highest values of shaded area with averages at midday $>100 \text{ m}^2$. The *V. thyrsoidea*, classified as an inverse conic crown shape tree, presented averages of shade area higher than 50 m^2 throughout the year. The *S. lycocarpum* and *V. thyrsoidea* species did not show a difference in the shaded area over the months, except in the winter when the shaded area was higher ($P < 0.05$).

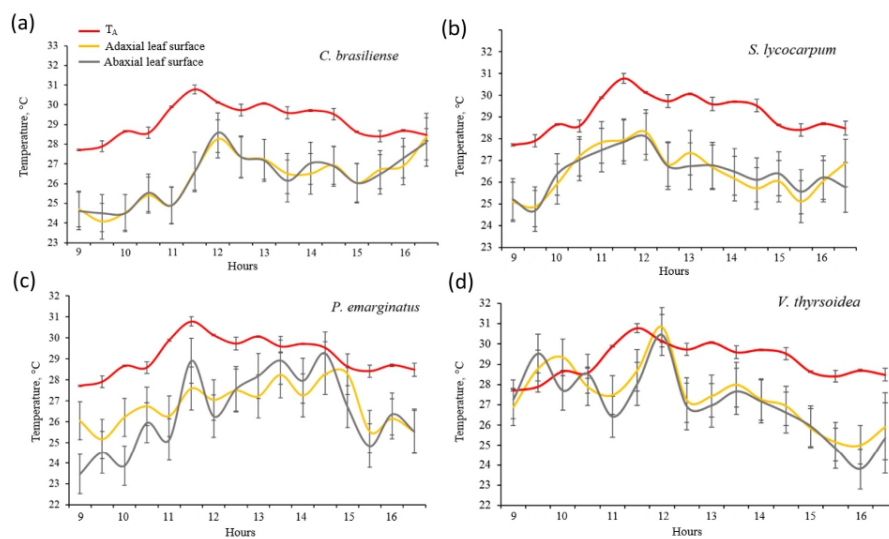


Fig. 7. Temperature of the adaxial and abaxial leaf surfaces throughout the day in comparison to the T_A mean from the native tree species: (a) *C. brasiliense*, (b) *S. lycocarpum*, (c) *P. emarginatus* and (d) *V. thyrsoidea*.

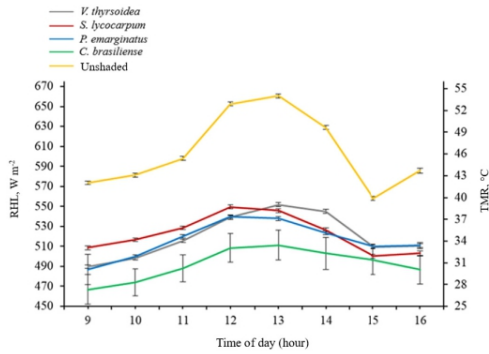


Fig. 8. Averages of Radiant Heat Load (\pm SE, $W m^{-2}$) and Mean Radiant Temperature (TMR, °C) from the unshaded and shaded areas of the Brazilian savanna native tree species (*C. brasiliense*, *V. thyrsoidea*, *P. emarginatus*, *S. lycocarpum*) throughout the experimental hours, from 9:00 h. to 16:00 h.

3.5. Carbon sequestration

The CO₂ sequestration ranged from 6.2 to 10.3 Mg ind.⁻¹ (Table 3), and the tallest species, *P. emarginatus* and *V. thyrsoidea*, showed similar results of carbon sequestration, reaching values over 10 Mg ind.⁻¹, which is 36 % higher than the other studied species (Fig. 10). The *S. lycocarpum* tree obtained the lowest values of total biomass, carbon stock, and CO₂ sequestered, while *C. brasiliense* presented similar values compared to the other tree species.

4. Discussion

4.1. Microclimate adjustment and shaded area

The benefits from the shade of trees have been shown to be greatly important for the ecosystems and animals reared in agroforestry systems. This work contributes to understanding how the biodiversity of shade

Table 3

Total biomass, carbon stock and CO₂ sequestered by each tree species (Mg ind.⁻¹).

Trees	Total biomass (Mg ind. ⁻¹)	Carbon stock (Mg ind. ⁻¹)	CO ₂ sequestered (Mg ind. ⁻¹)
<i>C. brasiliense</i>	4.75	2.38	8.71
<i>V. thyrsoidea</i>	5.60	2.80	10.27
<i>P. emarginatus</i>	5.58	2.79	10.23
<i>S. lycocarpum</i>	3.37	1.68	6.18

from native savanna tree species benefit the thermal comfort of animals in addition to the potential of carbon sequestration in agroforestry systems.

The first reaction of most animals under heat stress conditions, when heat loss by sensible flow is not sufficient to maintain the body temperature stable (Silva and Maia, 2013), is to seek a thermally preferable place, displaying cold-seeking behavior, mostly, to nearby shading (Speakman, 2001; Almeida et al., 2006). The observed mean reduction in this study by 1.3 °C in air temperature provided by the shade of the trees is in accordance with the achievement of the thermoneutrality zone of the majority of mammals and birds (Riek and Geiser, 2013; Yahav, 2015), whose upper critical temperature ranges between 29.0 °C and 33.7 °C. Therefore, this implies that in order for animals to maintain their body temperature homeostasis, the activation of autonomous heat loss mechanisms are not necessary, such as panting and sweating, which negatively impact their performance and health (Mader, 2014; Collier and Gebremedhin, 2015).

The largest observed difference in T_A compared to the unshaded area, was from the shade provided by the *C. brasiliense* tree, with a difference of 2 °C at 13:00 h (Fig. 5A). A similar decrease in T_A (2.3 °C) during the warmest hours in the shade of non-native tree species shade compared to an unshaded area in an integrated crop-livestock-forest system in the Brazilian savanna was observed by Karvatte et al. (2016). The same authors describe a temperature difference for scattered native tree species in the same system up to 9 °C. Abdallah & Chaieb (2012) reported a reduction in T_A above 2 °C from the shade of Mediterranean savanna tree species in the Brazilian semiarid region. The arboreal component had similar average reductions under shade of almost 3 °C (Menezes et al., 2002).

The relative humidity from the shade of the trees, which is one of the most important environmental factors related to animal thermoregulation, was 58 % higher on average than in the unshaded area (Fig. 6). A stability between 30 and 70 % are desired for an adequate thermal comfort condition (National Research Council, 2011); however, the combination with

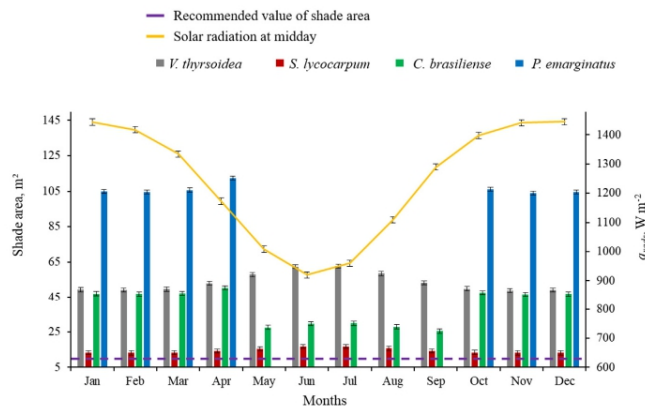


Fig. 9. Solar radiation (g_{rad} , $W m^{-2}$) and estimated means of the shaded area from tree species (*V. thyrsoidea*, *C. brasiliense*, *S. lycocarpum*, and *P. emarginatus*) with foliar phenology considered, at midday throughout the year.

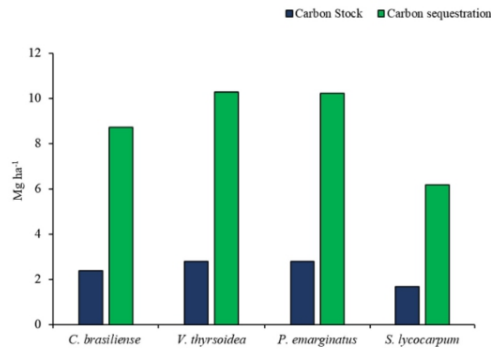


Fig. 10. The carbon stock (Mg ind.^{-1}) and carbon sequestration of CO_2 (Mg ind.^{-1}) were estimated for each tree species, according to collected data at UDICAL, Água Limpa Farm, UnB, DF, Brazil.

T_A have considerable effects under heat stress conditions, because high values of RH may prejudice evaporative heat loss. Therefore, the shade provided by the *C. brasiliense* is beneficial because it has more stable values of RH and thus does not compromise the autonomous thermoregulation of animals (Fig. 5B).

The noted inversely proportional behavior of RH and T_A throughout the day hours (Fig. 5A–B) is due to the warming air as it decreases its relative humidity content, as observed during the warmest hours. These T_A and RH levels can better support the animals' thermoneutrality zone, thus favoring a sensible heat flow (Mitchell et al., 2018). The convective heat transfer according to wind speeds observed in this study of over 1.7 m s^{-1} (between 13:00 h and 14:30 h – the warmest hours) is sufficient to allow heat loss by convection depending on the difference between T_A and the animal's body temperature. This difference can reduce the thermal resistance from the adjacent air on the animal surface and thus improve thermal comfort under the shade (McArthur, 1981). Despite this, recent studies conducted in open fields have related heat gain by convection when air temperature is high (Maia et al., 2005), as observed in this study.

Karvatte et al. (2016) and de Oliveira et al. (2018) carried out studies on Brazilian savanna agroforestry systems and described that a scattered tree arrangement disposition presented higher values of wind speed. However, this scattered tree arrangement can still take advantage of the windbreak effect in silvopastoral systems, as observed by Deniz et al. (2019). Therefore, this finding demonstrates the potential for these tree species to be used as living fences, as well as wildfire corridors and barriers.

The largest difference of RH values observed between the shade of the trees and the unshaded area (Fig. 5B), may have been influenced by transpiration in the leaves which increase the content of water vapor in the microclimate near the canopy surface. Other aspects from the tree species, such as the crown shape and leaf morphology, also affect these values, as described by Jones (2013). A higher adaxial temperature of the leaves was expected compared to the abaxial temperature due to the exposure to direct solar radiation. However, a statistical difference was not observed ($P > 0.05$) among the tree species nor over time (Fig. 7).

Leaf transpiration is directly correlated with the temperature of the leaves, as observed in Fig. 7a, b, c. The leaf temperatures of *C. brasiliense*, *S. lycocarpum* and *P. emarginatus* were below the T_A throughout most of the day hours, due to evaporative cooling in the leaves which increases the RH in the shaded microclimate. The same condition was pointed out by Van Laer et al. (2014), in a report on the relevance of outdoor shelter to cattle. However, in our study, an influence of this parameter in RH for the shade of *V. thyrsoidea* was not observed, displaying a minor difference between the leaf temperature and T_A , mainly in the early morning and at midday ($P > 0.05$). This can be attributed to the stomatal closing during these hours to

avoid water loss from the leaves (Lambers and Oliveira, 2019). This causes the tree to obtain higher values of RH throughout the day, differing from the other tree species ($P < 0.05$). The values of RH observed for *C. brasiliense* under the crown shade also differed from other tree species ($P < 0.05$), and the reduction in the T_A and the stabilized level of RH in the warmest hours resulted in better parameters for thermal comfort.

The highest values of leaf temperatures found in this study differ from the results by Franco et al. (2007) for other Brazilian savanna tree species, which reported peaks of leaf temperatures of 36°C .

The ground surface temperature covered by the shade of the trees shade was 22.2 % lower compared to the unshaded ground. This is a relevant factor in the thermal comfort condition under the shade, as the radiation absorbed by the ground is emitted as longwave radiation into the body of the animals (Silva and Maia, 2013). As reported by Kelly et al. (1971), a higher ground temperature can contribute to a heat load of $>400 \text{ W m}^{-2}$ under the animal.

Although in the warmest hours the unshaded ground from *C. brasiliense* obtained the highest average compared to the other trees ($P < 0.05$), with a mean of 41.5°C at midday, its shaded ground temperature was 34.5 % lower and it was stable over time ($P > 0.05$). These results account for a longer period of rest time for the animals under the shade, thus maximizing the heat transfer by conduction due to the temperature difference between the animal's body and the ground. Thus, if the animals increase their body surface contact area linked to colder surfaces, it is possible to increase heat loss from the body through longwave radiation (Collier and Gebremedhin, 2015; Cengel and Ghajar, 2015). Rhoades (1996) observed a similar reduction of 12°C in the shaded ground of Kenyan savanna trees. In a silvopastoral systems on subtropical conditions, Deniz et al., 2019 observed a mean decrease of 36.8 % in the shaded ground surface temperature compared to unshaded areas. These reductions in the ground surface temperature are associated with the intercepted radiation by the trees crown and their foliage density (Liu et al., 2020), meaning that the crown shape and density of *C. brasiliense* could favor its decrease in ground temperature.

The shaded area provided by the native tree species is directly related to their height, crown, and their foliar phenology, which infers the adequate shaded area over the year's seasons. Based on the tree species of this study, the shaded area over the months of the year at midday was, on average, above 50 m^2 , which is recommended for animals and allows for adequate air movement between their bodies, avoiding excessive crowding, reducing the heat load, and favoring convective heat transfer (Collier and Collier, 2012). During the months with the highest amounts of solar radiation (peaks of 1400 W m^{-2}), it is possible to observe the significant amount of radiation that the animals are susceptible to when exposed to a field with no shading. Therefore, the presence of the tree species provided an adequate shading area even with a difference among them ($P < 0.05$). The *P. emarginatus* tree obtained the highest average of shaded area, above 100 m^2 , which allowed for more animals per shaded area. However, as a deciduous tree, it loses its leaves completely between May and September (the dry winter months) when radiation is still prominent and can reach above 900 W m^{-2} (Fig. 9). However, the *V. thyrsoidea* and *S. lycocarpum* are classified as perennial trees, and do not lose their leaves, granting constant shade and revealing the importance of tree species biodiversity in the same area.

The foliar phenology also influenced the results observed for *C. brasiliense*, which, despite being classified as a semi-deciduous tree and having a noticeable loss of leaves during the winter, still provided good cover for a certain number of animals per shaded area, keeping a mean of 39 m^2 throughout the year. The *S. lycocarpum* tree showed the lowest shaded area averages compared to the other trees (14.4 m^2), but was in agreement with the literature values for animal comfort of 5.6 and 9.6 m^2 per animal (Alves et al., 2015; Schütz et al., 2010).

4.2. Thermal comfort condition

Under tropical conditions, T_A and RH are not the best parameters to infer thermal comfort conditions of an organism, especially for large

mammals (Buckley and Huey, 2016; Mitchell et al., 2018). Both sensible and evaporative heat flow mechanisms between the animals and the environment are mostly dependent on the temperature difference between the body surface and air, which are directly related to the amount of incident radiation (Gates, 1980). In this study, the solar radiation peaked at averages above 1000 W m^{-2} , which increased the radiant heat load under the micro-environment. From the black globe temperature, we calculated the Mean Radiant Temperature which was used to infer the shaded microclimate of the native trees. In the unshaded area, as shown in (Fig. 8), the highest values were observed, displaying the effect of the emitted radiation amount from the environment that the organisms are subjected to. These levels of TMR above 50°C observed in the unshaded area are not desirable as they increase the radiant heat load (RHL, W m^{-2}), which is a thermal comfort index that estimates the thermal energy amount transferred by radiation from all the surfaces surrounding a body (Esmay, 1969). Therefore, high values harm the thermal comfort condition (Silva and Maia, 2013).

Mainly at the warmest hours (11:00 h to 14:00 h), the observed increase in T_G reflected in high amounts of RHL and thus unfavorable thermal conditions. However, in the same schedules, a mean reduction of RHL was noticeable under the shade of the trees above 19.5 %. The shade of *C. brasiliense* tree stands out by decreasing the incidence of RHL at these schedules by 23.7 %, a value close to that reported by Karvatte et al. (2016) and Pezzopane et al. (2019) from the shade of trees in agroforestry systems, respectively of 28.3 % and 14.3 %. These averages can provide a better thermal comfort condition to livestock animals, reducing respiratory rate, body temperature, and improving their performance (Brown-Brandl, 2018). As noticed by Giro et al. (2019), a 17 % decrease in the radiant thermal load by the tree component in integrated systems, and reported by Domiciano et al. (2020) between 11 % and 18 %, allows cattle a longer rumination time, a reduction in their body temperature, and a long time of idle. The RHL average observed under the shade of *C. brasiliense* (486.7 W m^{-2}) is close to the value described by Mós et al. (2020) as ideal for the thermal comfort of sows in free-range systems - 491.9 W m^{-2} .

4.3. Carbon sequestration

The aboveground biomass of trees is greatly responsible for carbon sink, caused by photosynthesis that leads to atmospheric CO_2 uptake. This is the process of removing carbon from the atmosphere to a sink, called carbon sequestration, defined by the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) as the atmospheric carbon dioxide (CO_2) removed and stored in long-lived pools.

Using the biomass carbon stock from each tree species, we estimated individually a mean carbon dioxide sequestration of $8.85 \text{ Mg ind.}^{-1}$ (Table 3). We expected a large difference of biomass between the deciduous and the semi-deciduous species of this study (*P. emarginatus* and *C. brasiliense*, respectively) due to the weather seasonality from savanna and their phenology; however, their results did not differ (Fig. 10). These findings compared to the estimated mean value of aboveground carbon stock of worldwide tropical savannas of over 30 Mg ha^{-1} (Grace et al., 2006), are interesting and corroborate with the relevant role that these biome trees have in atmospheric and terrestrial carbon flux.

Our results were lower when compared to Brazilian savanna native tree biomass data, reported in a review by Miranda et al. (2016), of 98 Mg ha^{-1} for forestlands and 58 Mg ha^{-1} for shrublands, exhibiting a higher value of CO_2 sequestration of 179.0 and 106.4 Mg ha^{-1} , respectively calculated with the same conversion factor as in our study (3.67). The main reason for that difference is the sample area (tree density) and the biome heterogeneity of these studies, although it corroborates the importance of tree species density and diversity to increase the carbon sequestered (Nair et al., 2010).

Carbon sequestration by the biomass of trees is directly related to the evaporative water loss in the environment due to the stomatal opening which diffuses water vapor out, while carbon dioxide diffuses into the leaf (Gates, 1980). The leaf temperature of our study proves that process (Fig. 7), which can cause water stress for these species, mainly in regards to the estimated future global warming effects on biomes. However, Souza

et al. (2016) evaluated the response of select Brazilian savanna tree species, including *S. lycocarpum*, to atmospheres with increased CO_2 levels as well as water stress and reported that, even under these conditions, the species developed better due to their natural ability to accumulate large amounts of biomass. These savanna tree species are adept at absorbing CO_2 more efficiently from the atmosphere, which is arguably beneficial in silvipastoral systems characterized by high carbon concentrations. These combined results are relevant findings that support the diversity of tree species, particularly when considering possible drought scenarios caused by climate change.

The biomass stock and carbon sequestration in our study from native tree species also corroborates prior work by Souza et al. (2020), which evaluated the potential of mixed-species stands of native trees. This included trees from the Cerrado biome on recovering degraded lands, and increased the biomass accumulation and carbon sequestration. Therefore, we can adequately propose strategies for reforestation with these native tree species. The potential of reforestation on degraded lands in agroforestry systems coupled with an increase in carbon stock is confirmed by Chiemela et al. (2018).

Our results contribute to a new understanding of carbon sequestration potential of Cerrado native tree species, which can further forestation and reforestation projects beyond those of agroforestry systems to climate change mitigation, such as CO_2 sink options.

5. Conclusions

This preliminary study, based on the microclimate data from four different native trees of the Cerrado biome during the summer season, demonstrates the potential of their shade to reduce the air temperature and the Radiant Heat Load linked to the carbon dioxide sequestration. Therefore, this demonstrates the importance of their conservation and implementation in agroforestry systems, especially in tropical climates, as a means to provide thermal comfort and welfare to animals, in addition to contributing to sustainability.

The *C. brasiliense* has the greatest potential for beneficial application in agroforestry systems in comparison to the other native tree species, due to its reduction of Radiant Heat Load, air temperature, and ground temperature.

CRediT authorship contribution statement

Bruno Emanuel Teixeira: Formal analysis, Investigation, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Sheila Tavares Nascimento:** Conceptualization, Data curation, Formal analysis, Funding acquisition, Investigation, Methodology, Project administration, Resources, Supervision, Writing – original draft, Writing – review & editing. **João Victor do Nascimento Mós:** Formal analysis, Investigation, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Evandro Menezes de Oliveira:** Formal analysis, Investigation, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Vinicius Machado dos Santos:** Writing – original draft, Writing – review & editing. **Alex Sandro Campos Maia:** Methodology, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Vinicius de França Carvalho Fonsêca:** Writing – original draft, Writing – review & editing. **Bárbara Martins Passos:** Investigation, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Luci Sayori Murata:** Writing – original draft, Writing – review & editing.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgments

Funding

This work was supported by the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq and the Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal.

References

- Abdallah, &, Chaieb, 2012. The influence of trees on nutrients, water, light availability and understorey vegetation in an arid environment. *Appl. Veg. Sci.* 15, 501–512. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2012.01201.x>
- Abreu, R.C., Hoffmann, W.A., Vasconcelos, H.L., Pilon, N.A., Rossatto, D.R., Durigan, G., 2017. The biodiversity cost of carbon sequestration in tropical savanna. *Sci. Adv.* 3 (8), e1701284.
- Almeida, M.C., Steiner, A.A., Branco, L.G., Romanovsky, A.A., 2006. Cold-seeking behavior as a thermoregulatory strategy in systemic inflammation. *Eur. J. Neurosci.* 23 (12), 3359–3367.
- Alvares, C.A., Stape, J.L., Sentelhas, P.C., Gonçalves, J.L.M., Sparovek, G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Met. Zet.* 22, 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Alves, F.V., Nicodemo, M.L.F., Porfírio-da-Silva, V., 2015. Bem-estar animal em sistemas em integração lavoura-pecuária-floresta. Luiz Adriano Maia Cordeiro; Lourival Vilela; João Kluthouski; Robêlio Leandro Marchão. (Org.). *Integração Lavoura-Pecuária-Floresta*, 1a ed. v.1. Embrapa, Brasília, DF, pp. 274–289.
- Andrade, L.R.M., Barros, L.M.G., Echevarria, G.F., Do Amaral, L.I.V., Cotta, M.G., Rossatto, D.R., Franco, A.C., 2011. Al-hyperaccumulator vochysiaceae from the Brazilian cerrado store aluminum in their chloroplasts without apparent damage. *Environ. Exp. Bot.* 70 (1), 37–42.
- Armson, D., Stränger, P., Ennos, A.R., 2012. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban For. Urban Green.* 11 (3), 245–255.
- Barreto, D., Alves, F.V., de Oliveira Ramos, C.E.C., de Paula Leite, M.C., Leite, L.C., Junior, N.K., 2020. Infrared thermography for evaluation of the environmental thermal comfort for livestock. *Int. J. Biometeorol.* 64 (5), 881–888.
- Brown-Brandl, T.M., 2018. Understanding heat stress in beef cattle. *Rev. Bras. Zootec.* 2016, 47. Buckley and Huey.
- Buckley, L.B., Huey, R.B., 2016. How extreme temperatures impact organisms and the evolution of their thermal tolerance. *Integr. Comp. Biol.* 56 (1), 98–109.
- Burrell, A.L., Evans, J.P., De Kauwe, M.G., 2020. Anthropogenic climate change has driven over 5 million km² of drylands towards desertification. *Nat. Commun.* 11 (1), 1–11.
- Cengel, Y.A., Ghajar, A.J., 2015. Introduction and basic concepts. *Heat and Mass Transfer Fundamental and Applications*. McGraw-Hill Education, pp. 7–10.
- Chiemela, S.N., Noulékoun, F., Chiemele, C.J., Zenebe, A., Abadi, N., Bihane, E., 2018. Conversion of degraded agricultural landscapes to a smallholder agroforestry system and carbon sequestration in drylands. *Int. J. Clim. Change Strategies Manage.* 10 (3), 472–487.
- Clerici, M.T.P.S., Kallmann, C., Gaspi, F.O.G., Morgano, M.A., Martínez-Bustos, F., Chang, Y.K., 2011. Physical, chemical and technological characteristics of *Solanum lycocarpum* a. St-HILL (Solanaceae) fruit flour and starch. *Food Res. Int.* 44 (7), 2143–2150.
- Collier, R.J., Collier, J.L. (Eds.), 2012. *Environmental Physiology of Livestock*. John Wiley & Sons.
- Collier, R.J., Gebremedhin, K.G., 2015. Thermal biology of domestic animals. *Annu. Rev. Anim. Biosci.* 3 (1), 513–532.
- Da Silva, R.G., Guilherme, M.M., De Moraes, D.A.E.F., 2010. Thermal radiation absorbed by dairy cows in pasture. *Int. J. Biometeorol.* 54 (1), 5–11.
- Deniz, M., Schmitt Filho, A.L., Farley, J., et al., 2019. High biodiversity silvopastoral system as an alternative to improve the thermal environment in the dairy farms. *Int. J. Biometeorol.* 63, 83–92. <https://doi.org/10.1007/s00484-018-1638-8>
- Dias, L.C., Pimenta, F.M., Santos, A.B., Costa, M.H., Ladle, R.J., 2016. Patterns of land use, extensification, and intensification of Brazilian agriculture. *Glob. Chang. Biol.* 22 (8), 2887–2903.
- Domício, L.F., Pedreira, B.C., da Silva, N.M., Mombach, M.A., Chizzotti, F.H., Batista, E.D., do Nascimento, H.L., 2020. Agroforestry systems: an alternative to intensify forage-based livestock in the Brazilian Amazon. *Agrofor. Syst.* 94 (5), 1839–1849.
- Esmay, M.L., 1969. *Principles of Animal Environment*. Principles of animal environment.
- Fank-de-Carvalho, S.M., Somavilla, N.S., Marchioretto, M.S., Bão, S.N., 2015. Plant structure in the Brazilian neotropical savannah species. *Biodiversity in Ecosystems—Linking Structure and Function*, pp. 425–459.
- Franco, A.C., Matsubara, S., Orthen, B., 2007. Photoinhibition, carotenoid composition and the co-regulation of photochemical and non-photochemical quenching in neotropical savanna trees. *Tree Physiol.* 27 (5), 717–725.
- Gates, D.M., 1980. *Biophysical Ecology*. Springer Verlag, New York.
- Giro, A., Pezzopane, J.R.M., Junior, W.B., de Faria Pedroso, A., Lemes, A.P., Botta, D., Garcia, A.R., 2019. Behavior and body surface temperature of beef cattle in integrated crop-livestock systems with or without tree shading. *Sci. Total Environ.* 684, 587–596.
- Gomes, L., Miranda, H.S., da Cunha Bustamante, M.M., 2018. How can we advance the knowledge on the behavior and effects of fire in the cerrado biome? *For. Ecol. Manag.* 417, 281–290.
- Gonçalves, D.J.P., Romero, R., Yamamoto, K., 2013. Vochysiaceae no Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil. *Rodriguésia* 64 (4), 863–875.
- Grace, J., José, J.S., Meir, P., Miranda, H.S., Montes, R.A., 2006. Productivity and carbon fluxes of tropical savannas. *J. Biogeogr.* 33 (3), 387–400.
- Harvey, W.R., 1960. *Least-squares Analysis of Data With Unequal Subclass Numbers*. Vol. 20. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture No. 8.
- IPCC, 2014. *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer, L.A. (Eds.), IPCC, Geneva, Switzerland.
- Jolly, W.M., Cochrane, M.A., Freeborn, P.H., Holden, Z.A., Brown, T.J., Williamson, G.J., Bowman, D.M., 2015. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013. *Nat. Commun.* 6 (1), 1–11.
- Jones, H.G., 2013. *Plants and Microclimate: A Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. Cambridge University Press.
- Karvatte Jr, N., Miyagi, E.S., de Oliveira, C.C., Barreto, C.D., Mastelaro, A.P., Bungenstab, D.J., Alves, F.V., 2020. Infrared thermography for microclimate assessment in agroforestry systems. *Sci. Total Environ.* 731, 139252.
- Karvatte, N., Klosowski, E.S., de Almeida, R.G., et al., 2016. Shading effect on microclimate and thermal comfort indexes in integrated crop-livestock-forest systems in the Brazilian Midwest. *Int. J. Biometeorol.* 60, 1933–1941. <https://doi.org/10.1007/s00484-016-1180-5>
- Kelly, C.F., Bond, T.E., Yeck, R.G., McDowell, R.E., Dougherty, R.W., Hazen, T.E., Wilson, W.O., 1971. *A guide to environmental research on animals*. Bioclimatic Factors and Their Measurement. National Academy of Sciences, Washington, Dc, p. 42.
- Köppen, W., 1948. *Climatología: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica, México 478 p.
- Lambers, H., Oliveira, R.S., 2019. Photosynthesis, respiration, and long-distance transport: photosynthesis. *Plant Physiological Ecology*. Springer, Cham https://doi.org/10.1007/978-3-030-29639-1_2
- Leite, G.L.D., Veloso, R.V.D.S., Zanuncio, J.C., Azevedo, A.M., Silva, J.L., Wilcken, C.F., Soares, M.A., 2017. Architectural diversity and galling insects on *Caryocar brasiliense* trees. *Sci. Rep.* 7 (1), 1–7.
- Letcher, T.M., 2019. Why do we have global warming? *Managing Global Warming*. Academic Press, pp. 3–15.
- Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B.M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Torquebiau, E.F., 2014. Climate-smart agriculture for food security. *Nat. Clim. Chang.* 4 (12), 1068–1072.
- Littell, et al., 2002. In: Littell, Ramon C., Stroup, Walter W., Freund, Rudolf J. (Eds.), *SAS for Linear Models*, Fourth Edition, 4th edition.
- Liu, Z., Brown, R.D., Zheng, S., Zhang, L., Zhao, L., 2020. The effect of trees on human energy fluxes in a humid subtropical climate region. *Int. J. Biometeorol.* 64 (10), 1675–1686.
- Lorenzi, H., Matos, F.J.A., 2002. *Plantas Medicinais no Brasil: Nativas e Exóticas*. Nova.
- Lorenzi, H.M., Matos, F., 2008. *FJA Plantas medicinais no Brasil: nativas e exóticas*. Instituto Plantarum, Nova Odessa, São Paulo, p. 544.
- Mader, T.L., 2014. Animal welfare concerns for cattle exposed to adverse environmental conditions. *J. Anim. Sci.* 92, 5319–5324. <https://doi.org/10.2527/jas2014-7950>
- Maia, A.S.C., Da Silva, R.G., Loureiro, B., 2005. Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *Int. J. Biometeorol.* 50 (1), 17–22.
- Marcellac-Embertson, N.M., Robinson, P.H., Fadel, J.G., Mitloehner, F.M., 2009. Effects of shade and sprinklers on performance, behavior, physiology, and the environment of heifers. *J. Dairy Sci.* 92 (2), 506–517.
- McArthur, A.J., 1981. Thermal resistance and sensible heat loss from animals. *J. Therm. Biol.* 6 (1), 43–47.
- Menezes, R.S.C., Salcedo, I.H., Elliott, E.T., 2002. Microclimate and nutrient dynamics in a silvopastoral system of semi-arid northeastern Brazil. *Agrofor. Syst.* 56, 27–38. <https://doi.org/10.1023/A:1021172530939>
- Miranda, E., Carmo, J., Couto, E., Camargo, P., 2016. Long-term changes in soil carbon stocks in the Brazilian cerrado under commercial soybean. *Land Degrad. Dev.* 27 (6), 1586–1594.
- Mitchell, D., Snelling, E.P., Hetem, R.S., Maloney, S.K., Strauss, W.M., Fuller, A., 2018. Revisiting concepts of thermal physiology: predicting responses of mammals to climate change. *J. Anim. Ecol.* 87 (4), 956–973.
- Mós, J.V.do N., Nascimento, S.T., Murata, L.S., 2020. Thermal comfort of sows in free-range system in Brazilian Savanna. *J. Therm. Biol.* 88 <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2019.102489>
- Mosquera-Losada, M.R., Freese, D., Rigueiro-Rodríguez, A., 2011. Carbon sequestration in European agroforestry systems. *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems*. Springer, Dordrecht, pp. 43–59.
- Nair, P.R., Nair, V.D., Kumar, B.M., Showalter, J.M., 2010. Carbon sequestration in agroforestry systems. *Adv. Agron.* 108, 237–307.
- Napoli, M., Massetti, L., Brandani, G., Petralli, M., Orlandini, S., 2016. Modeling tree shade effect on urban ground surface temperature. *J. Environ. Qual.* 45 (1), 146–156.
- National Research Council, 2011. *Guide for the Care and Use of Laboratory Animals*. Eighth edition. The National Academies Press, Washington, DC <https://doi.org/10.17226/12910>
- Nielsen, D.C., Anderson, R.L., 1989. Infrared thermometry to measure single leaf temperatures for quantification of water stress in sunflower. *Agron. J.* 81 (5), 840–842.
- Oliveira, C.C., Alves, F.V., de Almeida, R.G., et al., 2018. Thermal comfort indices assessed in integrated production systems in the Brazilian savannah. *Agrofor. Syst.* 92, 1659–1672. <https://doi.org/10.1007/s10457-017-0114-5>
- Penman, J., Gyatarsky, M., Hiraiishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Wagner, F., 2003. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-use Change and Forestry*. Institute for Global Environmental Strategies, Kanagawa Prefecture.
- Pezzopane, J.R.M., Nicodemo, M.L.F., Bosi, C., et al., 2019. Animal thermal comfort indexes in silvopastoral systems with different tree arrangements. *J. Therm. Biol.* 79, 103–111. <https://doi.org/10.1016/j.jtherbio.2018.12.015>
- Pinehiro, 2008. *Análises ecológicas e sensoriamento remoto aplicados à estimativa de fitomassa de cerrado na Estação Ecológica de Assis, SP*. Universidade de São Paulo.
- Pommerening, A., Grabarnik, P., 2019. *Individual-based Methods in Forest Ecology and Management*.
- Rabeling, S.C., Lim, J.L., Tidon, R., Neff, J.L., Simpson, B.B., Pawar, S., 2019. Seasonal variation of a plant-pollinator network in the Brazilian cerrado: implications for community structure and robustness. *PLoS one* 14 (12), e0224997.
- Raj, A., Jhariya, M.K., Yadav, D.K., Banerjee, A., 2020. *Climate Change and Agroforestry Systems: Adaptation and Mitigation Strategies*. CRC Press.
- Ratter, J.A., Bridgewater, S., Ribeiro, J.F., 2003. Analysis of the floristic composition of the Brazilian cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. *Edinb. J. Bot.* 60 (1), 57.

- Rhoades, C.C., 1996. Single-tree influences on soil properties in agroforestry: lessons from natural forest and savanna ecosystems. *Agrofor. Syst.* 35, 71–94. <https://doi.org/10.1007/BF02345330>.
- Riek, A., Geiser, F., 2013. Allometry of thermal variables in mammals: consequences of body size and phylogeny. *Biol. Rev.* 88, 564–572. <https://doi.org/10.1111/brev.12016>.
- Rohli, R.V., Vega, A.J., 2018. *Climatology* 4th ed. Jones & Bartlett Learning, Burlington, MA.
- Salgado, A.A.R., Assis, W.L., Magalhães Júnior, A.P., Carmo, F.F.D., Sordi, M.V.D., Oliveira, F.S.D., 2019. Semi-humid: the landscape of Central Brazil. *The Physical Geography of Brazil*. Springer, Cham, pp. 93–117.
- Sano, E.E., Rodrigues, A.A., Martins, E.S., Bettiol, G.M., Bustamante, M.M., Bezerra, A.S., Bolfe, E.L., 2019. Cerrado ecoregions: a spatial framework to assess and prioritize Brazilian savanna environmental diversity for conservation. *J. Environ. Manag.* 232, 818–828.
- Scheffers, B.R., De Meester, L., Bridge, T.C., Hoffmann, A.A., Pandolfi, J.M., Corlett, R.T., Watson, J.E., 2016. The broad footprint of climate change from genes to biomes to people. *Science* 354 (6313), aaf7671.
- Schütz, K.E., Rogers, A.R., Poulouin, Y.A., Cox, N.R., Tucker, C.B., 2010. The amount of shade influences the behavior and physiology of dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 93 (1), 125–133.
- Silva, R.G.D., 2006. Predição da configuração de sombras de árvores em pastagens Para bovinos. *Engenharia Agrícola* 26 (1), 268–281.
- Silva, R.G.D., Maia, A.S.C., 2013. *Principles of Animal Biometeorology*. Springer, Dordrecht.
- Solargis.com, 2019. [Online]. Available: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/overview/> [Accessed:5-Feb-2020].
- Souza, J.P., Melo, N.M., Pereira, E.G., Halfeld, A.D., Gomes, I.N., Prado, C.H.B., 2016. Responses of woody cerrado species to rising atmospheric CO₂ concentration and water stress: gains and losses. *Funct. Plant Biol.* 43 (12), 1183–1193.
- Souza, M.T.P., de Azevedo, G.B., Azevedo, G.T.D.O.S., Teodoro, L.P.R., Plaster, O.B., de Assunção, P.C.G., Teodoro, P.E., 2020. Growth of native forest species in a mixed stand in the Brazilian savanna. *For. Ecol. Manag.* 462, 118011.
- Speakman, 2001. Thermoregulation in Vertebrates: Acclimation, Acclimatization and Adaptation. *Encyclopedia of Life Sciences*. Macmillan Publishers Ltd, Nature Publishing Group.
- Strassburg, B.B., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., Balmford, A., 2017. Moment of truth for the cerrado hotspot. *Nat. Ecol. Evol.* 1 (4), 1–3.
- UNFCCC, 2015. United Nations, FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1 (12 December 2015). <https://unfccc.int/resource/docs/2015/cop21/eng/l09r01.pdf>.
- Van Laer, E., Moons, C.P.H., Sonck, B., Tuytens, F.A.M., 2014. Importance of outdoor shelter for cattle in temperate climates. *Livest. Sci.* 159, 87–101. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.11.003>.
- West, P.W., 2015. *Tree and Forest Measurement*. Springer https://doi.org/10.1007/978-3-319-14708-6_163p.
- Yahav, S., 2015. Regulation of body temperature: strategies and mechanisms. *Sturkie's Avian Physiology*. Academic Press, pp. 869–905.