



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL BAIANO *CAMPUS* GUANAMBI

RENATA CARVALHO SANTANA

**TROCAS GASOSAS E CARACTERIZAÇÃO ESTOMÁTICA DE UMBUZEIRO
'BRS-68'**

GUANAMBI
BAHIA – BRASIL
2025



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL BAIANO CAMPUS GUANAMBI

RENATA CARVALHO SANTANA

**TROCAS GASOSAS E CARACTERIZAÇÃO ESTOMÁTICA DE UMBUZEIRO
'BRS-68'**

Dissertação apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus* Guanambi, como parte das exigências do Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido, para obtenção do título de Mestre Profissional.

GUANAMBI
BAHIA – BRASIL
2025

Catálogo: Leidiane Reis - CRB-5/1959
IF Baiano, Campus Guanambi

S232t Santana, Renata Carvalho

Trocas gasosas e caracterização estomática de umbuzeiro
'BRS-68' / Renata Carvalho Santana. -- Guanambi, Ba., 2025.
64f.: il.

Dissertação Mestrado (Mestrado Profissional em Produção
Vegetal no Semiárido) - Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia Baiano - Campus Guanambi.

Orientador (a): Alessandro de Magalhães Arantes
Coorientador: Sérgio Luiz Rodrigues Donato

1. Umbu. 2. fisiologia vegetal. 3. Culturas frutíferas.
I.Título.

CDU: 634.4



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA BAIANO

Curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido

TERMO DE APROVAÇÃO NO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TROCAS GASOSAS E CARACTERIZAÇÃO ESTOMÁTICA DE UMBUZEIRO 'BRS-68'

Por

RENATA CARVALHO SANTANA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado às 14:00 do dia 26 de novembro de 2025 como requisito para a conclusão do curso de Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano - *Campus* Guanambi. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora, composta pelos professores/pesquisadores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o Trabalho APROVADO.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alessandro Arantes - Presidente; Prof. Dr. Sérgio L. R. Donato - Titular

Prof. Dr. Pedro R. R. Marques - Titular

Documento assinado eletronicamente por:

- **Alessandro de Magalhaes Arantes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 26/11/2025 15:37:20.
- **Pedro Ricardo Rocha Marques, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 26/11/2025 15:39:23.
- **Sergio Luiz Rodrigues Donato, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 26/11/2025 15:43:25.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/11/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifbaiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código 778038
Verificador: 43303c98f9
**Código de
Autenticação:**



DEDICAÇÃO

Dedico aos meus pais, ao meu marido e à minha irmã, pessoas sempre presentes em minha vida e em meu coração.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me sustentar nos momentos difíceis e me permitir realizar sonhos.

À minha família pelo amor incondicional, exemplo, suporte, incentivo e por não medirem esforços para me apoiar.

Ao meu esposo, por me apoiar, encorajar e ajudar, sempre com amor, companheirismo e paciência.

Ao Prof. Arantes, por sua orientação, disponibilidade, contribuição, paciência e ensinamentos transmitidos.

Ao Prof. Sérgio, por sua coorientação, presteza em ajudar e ensinamentos transmitidos.

Aos funcionários, que através do seu trabalho contribuem para o desenvolvimento das pesquisas.

Aos técnicos, em especial a João, que enfrentou o sol comigo e forneceu auxílio e prestatividade para o desenvolvimento dessa pesquisa.

A todos os professores pelo conhecimento repassado.

Ao Instituto Federal Baiano pela oportunidade de realizar o curso.

Aos colegas e amigos, pela parceria, contribuição, troca e amizade.

A todas as pessoas que contribuíram para realização deste trabalho e para minha formação, de forma direta ou indireta, o meu muito obrigada.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da Coleção de Acessos de Umbuzeiro e Umbu-cajazeira do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Campus Guanambi.....	9
Figura 2. Plantas estudadas do cultivar de umbuzeiro: BRS-68 (R1) (A); BRS-68 (R2) (B).	10
Figura 3. Condições de temperatura e precipitação período de novembro de 2024 a janeiro de 2025 em Guanambi-BA.	11
Figura 4. Condições de umidade e de déficit de pressão de vapor no período de novembro de 2024 a janeiro de 2025 em Guanambi-BA.	12
Figura 5. Registro da floração (A) e frutificação do cultivar BRS-68 de umbuzeiro (B).....	13
Figura 6. Analisador de gás a infravermelho (IRGA) modelo Lcpro+® Portable Photosynthesis System (ADC BioScientific Limited, UK) (A); Medidor de clorofila, Clorofilog CFL 1030 Falker ® (B); Aparelho AccuPAR, modelo LP PAR 80 (C).....	14
Figura 7. Lâmina com impressão epidérmica (A) e fotomicrografia de estômatos (B).	15
Figura 8. Vista da epiderme abaxial do umbuzeiro ‘BRS-68’ sob aumento de 10x.	38
Figura 9. Vista dos estômatos e das células epidérmicas na epiderme abaxial do umbuzeiro ‘BRS-68’ sob aumento de 40x	39
Figura 10. Epiderme foliar do ‘BRS-68’ sob aumento de 10x, obtida em quatro diferentes datas (1, 2, 3 e 4), às 8 (A) e 14 horas (B) em Guanambi, BA, 2024-2025.....	40
Figura 11. Epiderme foliar do ‘BRS-68’ sob aumento de 40x, obtida em quatro diferentes datas (1, 2, 3 e 4), às 8 (A) e 14 horas (B) em Guanambi, BA, 2024-2025.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) e mínima ($T_{\text{mín}}$), umidade relativa média (UR), precipitação (P), evapotranspiração de referência (E_{To}), déficit de pressão de vapor (DPV), Radiação Solar Global (Rad), velocidade do vento média ($VV_{\text{méd}}$) e máxima ($VV_{\text{máx}}$) registradas nos dias e horários das mensurações fisiológicas realizadas no cultivar de umbuzeiro. Guanambi, BA.	11
Tabela 2. Análise de variância com os respectivos quadrados médios da Radiação fotossinteticamente ativa na superfície foliar (Q_{leaf}), temperatura foliar (T_{leaf}), condutância estomática (g_s), taxa de fotossíntese (A), transpiração (E) e concentração interna de CO_2 (C_i) em cultivar de umbuzeiro ‘BRS-68’ em Guanambi, BA.	17
Tabela 3. Análise de variância com os respectivos quadrados médios da eficiência quântica da fotossíntese (A/Q_{leaf}), eficiência de carboxilação (A/C_i), eficiência instantânea de uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) em cultivar de umbuzeiro ‘BRS-68’ em Guanambi, BA. ...	17
Tabela 4. Variáveis fisiológicas avaliadas em umbuzeiro ‘BRS-68’, em quatro datas, às 8 e 14 horas em Guanambi, BA, 2024-2025.	17
Tabela 5. Análise de variância com os respectivos quadrados médios da clorofila a, b e total em cultivar de umbuzeiro ‘BRS-68’ em Guanambi, BA.	31
Tabela 6. Índice de Clorofila a, b e total avaliado em umbuzeiros ‘BRS-68’, às 8 e 14 horas em Guanambi, BA, 2024-2025.	31
Tabela 7. Análise de variância com os respectivos quadrados médios da Radiação fotossinteticamente ativa acima da copa (PARa) e Radiação fotossinteticamente ativa abaixo da copa (PARb), coeficiente de transmitância da radiação (τ), Índice de Área Foliar (IAF) e fração de radiação (FB) em cultivar de umbuzeiro ‘BRS-68’ em Guanambi, BA.	33
Tabela 8. Radiação fotossinteticamente ativa acima da copa (PARa) e Radiação fotossinteticamente ativa abaixo da copa (PARb) ($\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$), coeficiente de transmitância da radiação (τ) (adimensional), Índice de Área Foliar (IAF) ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) e fração de radiação FB (adimensional) avaliados em umbuzeiro ‘BRS-68’, às 8 e 14 horas, em Guanambi, BA, 2024-2025.	33
Tabela 6. Densidade estomática média do umbuzeiro ‘BRS-68’ obtida em duas lâminas para cada data e horário, em quatro diferentes datas, às 8 e 14 horas, em Guanambi, BA, 2024-2025.	40

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1. O umbuzeiro no contexto do Semiárido	3
2.2. Ecofisiologia do Umbuzeiro	4
2.3. Potencialidades do umbuzeiro	6
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1. Localização	8
3.2. Instalação e condução do experimento	9
3.3. Descrição das Condições Ambientais	11
3.4. Variáveis Analisadas	12
3.5. Caracterização estomática	15
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	16
4.1. Trocas Gasosas	16
4.1.1. Radiação fotossinteticamente ativa na superfície foliar (Q_{leaf})	18
4.1.2. Temperatura foliar (T_{leaf})	19
4.1.3. Taxa de fotossíntese (A)	21
4.1.4. Condutância estomática (g_s)	22
4.1.5. Taxa de Transpiração (E)	24
4.1.6. Concentração interna de CO_2 (C_i)	25
4.1.7. Eficiência quântica da fotossíntese (A/Q_{leaf})	26
4.1.8. Eficiência de carboxilação (A/C_i)	27
4.1.9. Eficiência instantânea de uso da água (A/E)	29
4.1.10. Eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s)	30
4.2. Índice de clorofila a , b e $total$	31
4.3. Índice de Área Foliar	33
4.4. Caracterização estomática	37
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	43
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

RESUMO

SANTANA, R. C. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano *Campus Guanambi*, Guanambi, novembro de 2025. **Trocas Gasosas e Caracterização Estomática de Umbuzeiro ‘BRS 68’**. Orientador: Dr. Alessandro de Magalhães Arantes. Coorientador: Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

O umbuzeiro (*Spondias tuberosa*), espécie nativa da Caatinga, destaca-se pela adaptação às condições semiáridas, mas ainda carece de estudos fisiológicos que subsidiem o cultivo em bases produtivas. Este trabalho avaliou as trocas gasosas e a caracterização estomática de plantas da cultivar BRS-68 (EPAMIG-01), cultivadas em sequeiro no IF Baiano, em Guanambi, Bahia. Foram mensurados parâmetros fisiológicos (A , g_s , E , C_i , T_{leaf} , Q_{leaf} , A/C_i , A/E , A/g_s , A/Q_{leaf}), índice de Clorofila (a , b e $total$) e o Índice de Área Foliar (IAF). Ademais, realizou-se a caracterização estomática, com a mensuração da densidade e turgescência estomática. Os resultados evidenciaram que a época exerceu maior influência que o horário sobre as trocas gasosas. A Radiação fotossinteticamente ativa na superfície foliar (Q_{leaf}) manteve-se estável, exceto em dezembro devido à nebulosidade, e foi mais intensa nas tardes de janeiro. A temperatura foliar (T_{leaf}) manteve-se superior à do ar em todos os momentos, com acréscimo médio de 1,37 °C para cada 1 °C de aumento da temperatura externa, reforçando a influência da radiação no aquecimento foliar. Em períodos de maior disponibilidade hídrica e de radiação, as plantas apresentaram maiores taxas de fotossíntese (A) e eficiência de carboxilação (A/C_i), inclusive no período da tarde, indicando tolerância ao calor e manutenção da assimilação de carbono. Em contrapartida, sob condições mais restritivas, verificou-se redução da fotossíntese e da eficiência de carboxilação, associada a valores elevados de concentração interna de CO₂, refletindo estratégias conservativas com fechamento estomático. A condutância estomática mostrou relativa estabilidade, permitindo equilíbrio entre assimilação de CO₂ e controle da perda hídrica. A transpiração variou conforme a demanda atmosférica, atingindo valores elevados em janeiro, quando foi compensada por maior fixação de carbono. A eficiência do uso da água foi maior no período da manhã em todos os avaliados. Ademais, a Eficiência intrínseca do uso da água e a Eficiência quântica da fotossíntese, seguiu padrão semelhante ao da eficiência do uso da água, com tendência de redução em períodos de priorização da conservação hídrica. Os teores de clorofila a , b e $total$ variaram conforme a sazonalidade e o horário do dia, com destaque para a clorofila a , que apresentou maiores valores em dezembro às 14h. A clorofila b manteve-se estável, exceto no fim de janeiro, quando aumentou em resposta à maior radiação, temperatura e disponibilidade hídrica, enquanto a clorofila $total$ elevou-se no período da tarde, indicando acúmulo de pigmentos ao longo do dia. O umbuzeiro apresentou alta eficiência na interceptação da luz e estabilidade estrutural do dossel. A variação de Radiação fotossinteticamente ativa acima da copa, Radiação fotossinteticamente ativa abaixo da copa e da fração de radiação refletiu mudanças nas condições meteorológicas, com menor radiação em dezembro e maior em janeiro. A baixa transmitância média confirma a densidade foliar e a eficiente captação de luz. O Índice de Área Foliar manteve-se estável, indicando que as

variações fisiológicas foram influenciadas principalmente pela radiação incidente, demonstrando a capacidade do umbuzeiro em ajustar sua atividade fotossintética às condições ambientais do semiárido. A análise da epiderme foliar do umbuzeiro BRS-68 revelou elevada densidade estomática, variando de 529 a 679 mm⁻² estômatos, com estruturas pequenas, do tipo anomocítico e tetracítico, distribuídas uniformemente na face abaxial. Predominaram estômatos abertos na maior parte do período, exceto em dezembro, quando se observaram estômatos fechados ou semi-fechados, coincidindo com a menor radiação e condutância estomática. Conclui-se que a cultivar BRS-68 apresenta elevada adaptabilidade fisiológica, modulando os mecanismos disponíveis em resposta às variações ambientais, o que garante equilíbrio entre fotossíntese e economia de água. Tais características confirmam a adaptação do umbuzeiro ao Semiárido e reforçam seu potencial produtivo e estratégico para o fortalecimento da agricultura regional.

Palavras-chave: *Spondias tuberosa*. Ecofisiologia de umbuzeiros. Estômatos. Adaptação fisiológica. Potencial produtivo.

ABSTRACT

SANTANA, R. C. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano *Campus Guanambi*, Guanambi, October 2025. **Gas Exchange and Stomatal Characterization of Umbuzeiro ‘BRS 68’**. Advisor: Dr. Alessandro de Magalhães Arantes. Co-adviser: Dr. Sérgio Luiz Rodrigues Donato.

The umbu tree (*Spondias tuberosa*), a native species of the Caatinga biome, stands out for its adaptation to semi-arid conditions, but still lacks physiological studies to support its cultivation on a productive basis. This work evaluated the gas exchange and stomatal characterization of plants of the BRS-68 cultivar (EPAMIG-01), grown under rainfed conditions at IF Baiano, in Guanambi, Bahia. Physiological parameters related to gas exchange, the Chlorophyll index, and the Leaf Area Index were measured. Furthermore, stomatal characterization was performed, with the measurement of stomatal density and analysis of turgor pressure. The results showed that the season exerted a greater influence than the time of day on gas exchange. Photosynthetically active radiation on the leaf surface remained stable, except in December due to cloudiness, and was more intense in the afternoons of January. Leaf temperature remained higher than air temperature at all times, with an average increase of 1.37 °C for each 1 °C increase in external temperature, reinforcing the influence of radiation on leaf heating. During periods of greater water availability and radiation, plants showed higher rates of photosynthesis and carboxylation efficiency, including in the afternoon, indicating heat tolerance and maintenance of carbon assimilation. Conversely, under more restrictive conditions, a reduction in photosynthesis and carboxylation efficiency was observed, associated with high internal CO₂ concentrations, reflecting conservative strategies with stomatal closure. Stomatal conductance showed relative stability, allowing a balance between CO₂ assimilation and control of water loss. Transpiration varied according to atmospheric demand, reaching high values in January, when it was compensated by greater carbon fixation. Water use efficiency was higher in the morning in all evaluated periods. Furthermore, the intrinsic efficiency of water use and the quantum efficiency of photosynthesis followed a similar pattern to that of water use efficiency, with a tendency to decrease during periods of prioritization of water conservation. Chlorophyll a, b, and total chlorophyll levels varied according to seasonality and time of day, with chlorophyll a showing the highest values in December at 2 PM. Chlorophyll b remained stable, except at the end of January, when it increased in response to higher radiation, temperature, and water availability, while total chlorophyll increased in the afternoon, indicating pigment accumulation throughout the day. The umbu tree showed high efficiency in light interception and structural stability of the canopy. The variation in photosynthetically active radiation above the canopy, photosynthetically active radiation below the canopy, and the radiation fraction reflected changes in meteorological conditions, with lower radiation in December and higher radiation in January. The low average transmittance confirms the leaf density and efficient light capture. The Leaf Area Index remained stable, indicating that physiological variations were mainly influenced by incident radiation, demonstrating the umbu tree's ability to adjust its

photosynthetic activity to the semi-arid environmental conditions. Analysis of the leaf epidermis of the BRS-68 umbu tree revealed high stomatal density, ranging from 529 to 679 mm² stomata, with small, anomocytic and tetracytic structures uniformly distributed on the abaxial surface. Open stomata predominated for most of the period, except in December, when closed or semi-closed stomata were observed, coinciding with the lowest radiation and stomatal conductance. It is concluded that the BRS-68 cultivar exhibits high physiological adaptability, modulating available mechanisms in response to environmental variations, which ensures a balance between photosynthesis and water conservation. These characteristics confirm the adaptation of the umbu tree to the semi-arid region and reinforce its productive and strategic potential for strengthening regional agriculture.

Keywords: *Spondias tuberosa*. Umbu tree ecophysiology. Stomata. Physiological adaptation. Productive potential.

1. INTRODUÇÃO

O Umbuzeiro ou Imbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) é uma fruteira nativa da flora do Bioma Caatinga que apresenta grande importância ambiental, econômica e social que advém desde a ancestralidade, admitindo um significado étnico e até mesmo sagrado para as populações tradicionais que vê na floração e, posteriormente, na brotação de suas folhas o fim da estação seca e início da estação chuvosa, como um verdadeiro símbolo do despertar da Caatinga (Saturnino; Souza, 2019).

Por se distribuir por todo o Semiárido brasileiro e desempenhar ainda hoje um papel indiscutível na vida nordestina, Euclides da Cunha, em *Os Sertões*, descreve o umbuzeiro como “É a árvore sagrada do sertão. Sócia fiel das rápidas horas felizes e longos dias amargos dos vaqueiros. Representa o mais frisante exemplo de adaptação da flora sertaneja” (Cunha, 1902, p. 28), destacando a sua capacidade de resistir nos ecossistemas semiáridos e sua relação com as comunidades.

A espécie é uma xerófita lenhosa endêmica do Nordeste Brasileiro, pertencente à família Anacardiaceae, de característica caducifólia, de vida longa, apresenta porte arbóreo de aproximadamente 7 m de altura, copa de até 12 m de diâmetro e frutos que apresentam grande volume de polpa, sabor palatável, rico em sais minerais e vitaminas e são amplamente utilizados na alimentação humana e animal (Batista, 2015; Donato et al, 2019a). Além disso, os frutos dessa espécie são comercializados tanto com os frutos in natura como em forma de produtos processados em forma de polpas, geleias, doces, entre outros, de maneira a compor a renda da população local através da exploração de forma extrativista, já enraizada na cultura local (Vidigal et al., 2011; Batista, 2015; Santos, 2018).

Por advir naturalmente da região semiárida, a *S. tuberosa* é abundante em todo o semiárido do Nordeste brasileiro, e apresenta como característica principal sua alta adaptação às condições climáticas e edáficas da região semiárida, onde predomina-se a baixa pluviosidade, altas temperaturas e solos com fertilidade variável (Silva et al., 2010; Saturnino et al, 2011).

Nesse sentido, por se desenvolver em regiões com pluviosidade entre 400-800 mm anuais, a espécie apresenta alta tolerância à condição de déficit hídrico, que é um dos aspectos mais interessantes dentre os que apresenta, pois permite que o desenvolvimento

ocorra mesmo quando o vegetal está submetido à uma baixa oferta hídrica, reduzindo o potencial de água nas plantas como estratégia de resistência (Mertens et al., 2015).

Para ter esse nível de adaptabilidade, o umbuzeiro desenvolveu várias estratégias com a finalidade de retardar o déficit hídrico, tais como: absorção de água mais eficiente, redução da superfície transpirante, alta capacidade de condução e armazenamento de água (Larcher, 2006). Outras estratégias utilizadas é o desenvolvimento de raízes tuberosas, que armazenam água e nutrientes, e o ajustamento osmótico, que consiste na acumulação de solutos e o controle eficiente da transpiração foliar, permitindo a manutenção do turgor em potenciais hídricos baixos (Lima Filho; Aidar, 2016).

Apesar da grande relevância e potencial do umbuzeiro, a espécie foi por muito tempo negligenciada no âmbito científico e produtivo, o que limitou sua valorização e uso em maior escala. Atualmente, ainda existem desafios a serem superados, como a redução das populações nativas com risco de erosão genética, o estágio inicial de domesticação e a baixa produção em áreas cultivadas, onde predomina o extrativismo (Batista *et al.*, 2015; Lins Neto *et al.*, 2013).

Nas últimas décadas, entretanto, os estudos têm se intensificado e resultaram em avanços relevantes, como a criação de bancos de germoplasma, o desenvolvimento de cultivares e a implantação de cultivos experimentais (Oliveira et al, 2016). Ainda assim, a base de conhecimento construída não é suficiente para possibilitar a plena utilização do umbuzeiro como cultivar, havendo necessidade de aprofundar a avaliação de características vegetativas, fisiológicas e de rendimento em diferentes condições ambientais.

O potencial da produção e comércio do fruto ganha destaque principalmente quando se observa os resultados expressivos, registrados em 2023 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), onde constatou-se um aumento de 18,9% em relação a 2022 na produção nacional de umbu, atingindo 15.289 toneladas de frutos, resultados expressivos mesmo limitados ao extrativismo e provavelmente subnotificados (Batista *et al.*, 2015).

Assim, para que os umbuzeiros da Caatinga sejam melhor aproveitados e contribuam de forma efetiva para o fortalecimento da agricultura familiar e da renda no Semiárido, torna-se necessário aprofundar os estudos sobre a fisiologia e o comportamento estomático dos diferentes cultivares em condições de campo. Essas mensurações fisiológicas possibilitam identificar influências genotípicas e ambientais no desenvolvimento da planta em determinado ambiente (Santos *et al.*, 2020).

Dessa forma, compreender a interação entre as trocas gasosas, estômatos e os fatores ambientais permite averiguar o desempenho do cultivar de umbuzeiro no local de cultivo, estando essas informações intrinsecamente ligadas ao genótipo e à produtividade, aspectos relevantes para a prospecção de acessos, otimização a seleção o direcionamento do uso agrícola da espécie (Arantes *et al.*, 2016; Santos *et al.*, 2021; Donato *et al.*, 2022).

Com isso, objetivou-se com o presente trabalho avaliar as trocas gasosas, o índice de clorofila, o índice de área foliar e os estômatos do cultivar de umbuzeiro BRS-68 sob regime de sequeiro mantido em plantio experimental no IF BAIANO, *Campus* Guanambi-BA.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. O umbuzeiro no contexto do Semiárido

O Umbuzeiro pertence ao gênero *Spondias*, que se origina na América Tropical, Ásia e Oceania e abrange dezoito espécies distribuídas nos neotrópicos (Batista *et al.*, 2015). Algumas destas espécies se destacam no Nordeste Brasileiro, como a *Spondias mombin* L. (cajazeira), *Spondias purpurea* L. (ciriguela), *Spondias cytherea* Sonn. (cajaraneira), *Spondias tuberosa* Arruda Câmara (umbuzeiro) e *Spondias* spp. (umbu-cajazeira e umbuguela), que são amplamente exploradas de forma extrativista nas regiões onde se desenvolvem (Cavalcanti; Resende; Drumond, 2006).

A relação entre o umbuzeiro e as comunidades locais vem sendo construída desde os primeiros sertanejos, quando os povos tradicionais utilizavam a planta para fins religiosos e de cura, devido às propriedades medicinais da planta, e para matar a sede, com a reserva de água em suas raízes. Isso fez com que a árvore passasse a ser cada vez mais presente na vida sertaneja, com grande importância cultural, social e econômica nos dias atuais (Santos *et al.*, 2023; Valentim; Peixoto, 2023).

A árvore também se destaca na paisagem do sertão, uma vez que quando adulta pode atingir até 8 metros de altura, apresentando tronco curto, e com galhos laterais retorcidos que podem chegar a até 15 metros de diâmetro de copa. O sistema radicular é composto por raízes longas com a presença de xilopódios, que são estruturas esponjosas capazes de absorver e armazenar água. As folhas são do tipo compostas, que podem ter forma elíptica ou oval, com margens lisas ou serrilhadas, possuindo estômatos pequenos na epiderme abaxial (Lima Filho, 2011; Saturnino *et al.*, 2019).

O florescimento e a frutificação ocorrem como resposta às modificações ambientais externas. As plantas adultas florescem pouco antes do início da estação chuvosa na região, geralmente no mês de outubro, com o aparecimento de flores pequenas, brancas, pentâmeras, apresentando inflorescências terminais unidas em forma de panícula. Já a frutificação ocorre cerca de 25 dias após o florescimento, com a formação de frutos obovoides a subglobosos, com sementes alongadas e reniformes. A colheita dos frutos dá início a senescência das folhas (Donato *et al.*, 2019a; Rodrigues *et al.*, 2023).

Devido a essas características morfofisiológicas e a boa produtividade de frutos, os umbuzeiros exercem funções extremamente úteis para a região, não só no fornecimento de alimento humano e animal, através dos seus frutos comestíveis e altamente nutritivos, mas também na formação de sombreamento, fornecendo proteção ao solo e abrigo aos animais, na geração de segurança alimentar e de renda para as comunidades, com o consumo e comércio dos frutos, além de contribuir para a biodiversidade e poder contribuir para a formação de sistemas mais sustentáveis de cultivo, entre outros importantes serviços ambientais que essas árvores prestam às áreas onde se fazem presentes (Saturnino; Souza, 2019).

Apesar da sua importância, os umbuzeiros têm sido gradativamente removidos dos ecossistemas semiáridos. Dentre as principais causas estão o desmatamento, fragmentação da vegetação, degradação do solo, a adoção de práticas agrícolas e de formas de manejo não sustentáveis e até mesmo a falta de conscientização quanto a relevância da espécie.

Nesse contexto, a valorização da espécie, a agregação de valor aos frutos, a implantação de cultivos sustentáveis e a agroindustrialização visando a geração de renda, podem contribuir para a conservação e permanência do umbuzeiro no Semiárido. Para isso, é essencial conhecer a espécie e popularizar as informações referentes a sua importância e potencialidades, além de se investir em práticas de manejo sustentável, estratégias que devem ser planejadas e executadas em colaboração entre comunidades locais, cientistas, organizações ambientais e autoridades governamentais.

2.2. Ecofisiologia do Umbuzeiro

O umbuzeiro para se desenvolver na Região Semiárida possui adaptações fisiológicas que lhe permitem sobreviver em condições adversas, com alta incidência de radiação solar, baixa pluviosidade, temperaturas elevadas e em solos diversificados.

Visando conhecer essas adaptações, alguns estudos realizados sobre a fisiologia do umbuzeiro se destacam, como os estudos pioneiros realizados por Ferri (1953a, 1953b), que avaliou aspectos da transpiração do umbuzeiro, entre outras espécies da caatinga. Quanto ao estudo das relações hídricas, trabalhos como os de Lima Filho e Silva (1988), são referências importantes para estudos na área. Além desses, destacam-se estudos voltados às trocas gasosas realizados por Araújo e Castro Neto (2002), e às respostas de umbuzeiros às condições de campo, desenvolvidos por Lima Filho em 2001 e 2004.

Dentre suas adaptações, destaca-se a capacidade de economia de água que o umbuzeiro apresenta em seu habitat natural (Lima Filho; Silva, 1988). Para Donato *et al.* (2019a), o umbuzeiro possui três principais mecanismos de adaptação ao semiárido, sendo eles o armazenamento de água e nutrientes nos xilopódios, a restrição dos estômatos e perda das folhas, reduzindo a perda de água e acumulando soluções em suas células para manter a pressão osmótica e a hidratação celular.

Esse processo fisiológico ocorre como resposta às condições ambientais as quais o umbuzeiro fica submetido, principalmente durante a estação seca. É nesse momento em que a planta potencializa suas estratégias de convivência, com a senescência das folhas, reduzindo suas atividades metabólicas como as taxas de transpiração e fotossíntese, permanecendo em dormência vegetativa até a ocorrência das primeiras chuvas, preservando seus recursos durante condições desfavoráveis. Além desse processo, o rígido controle estomático da transpiração (Lima Filho; Silva, 1988) e a presença de um sistema radicular especializado que possuem tubérculos com água, minerais e outros solutos armazenados (Lima Filho, 2001), garantem a permanência da espécie.

Outro aspecto fundamental é ligado à fotossíntese, uma vez que o umbuzeiro é capaz de realizar o Metabolismo C3, que se configura, de forma principal, em uma estratégia metabólica que utiliza exclusivamente o Ciclo de Calvin-Benson para a fixação do CO₂ atmosférico e realizam fotorrespiração, uma vez que não possuem mecanismo de concentração de carbono (Taiz *et al.*, 2017).

Ademais, o umbuzeiro apresenta mecanismos bioquímicos de resistência ao estresse hídrico. A acumulação de soluções compatíveis, como prolinas e açúcares solúveis, atua como agentes osmoprotetores, ajudando a manter a estabilidade das células em condições de déficit hídrico. Além disso, o umbuzeiro apresenta mecanismos de resistência à salinidade do solo, característica crucial uma vez que a salinidade pode comprometer a absorção de água pelas raízes, sendo um desafio em ambientes áridos.

Esses recursos são utilizados durante a estação seca para manter o metabolismo normal da planta e iniciar o processo de floração. Lima Filho (2001) estudou as relações hídricas internas desta espécie e sugeriu que em condições de seca o balanço hídrico diurno seria mantido pelo consumo de água armazenada nos tubérculos e pela transpiração restrita.

Essas características demonstram a capacidade de adaptação ao estresse abiótico e a com menos danos metabólicos na estação seca, já que com a variação do regime sazonal e o início das chuvas, o desempenho ecofisiológico da planta funciona de forma distinta, podendo alterar a fotoproteção e o ganho de carbono, e dando início a floração e frutificação (Antunes *et al.*, 2016).

Conhecer a fisiologia da espécie nessas condições adversas de clima pode contribuir significativamente para o entendimento de como otimizar a produtividade de umbuzeiros em condições de seca em ambientes semiáridos. Assim, medidas fisiológicas em cultivares de umbuzeiro no semiárido, permitem identificar influências genéticas e ambientais no desenvolvimento da espécie, sendo relevante entender como as trocas gasosas são afetadas nesses cultivares, visando auxiliar técnicos e produtores no manejo da cultura (Donato *et al.*, 2022).

2.3. Potencialidades do umbuzeiro

Dentre as principais fruteiras nativas do Nordeste, com potencial econômico, o umbuzeiro desponta como uma alternativa de complementação de renda familiar, uma vez que já é utilizada comumente através do extrativismo e comércio dos seus frutos (Lima Filho, 2001; Araújo; Castro Neto, 2002).

A venda dos frutos de umbu também é algo enraizado na cultura semiárida e ocorre geralmente em pontos comerciais locais, feiras livres e até mesmo nas ruas e próximos a estradas, por pequenos produtores e até mesmo por pessoas que simplesmente têm acesso a umbuzeiros e realizam a colheita para uso próprio e venda.

Isso evidencia o que Lira Junior *et al.* (2008) destaca ao propor que o cultivo de umbuzeiro é uma alternativa para diversificação da fruticultura em regiões semiáridas brasileiras, uma vez que seus frutos podem ser utilizados para consumo in natura e por apresentarem o potencial de serem aproveitados economicamente, com a sua produção voltada para fins comerciais intensificada.

A produção de Umbuzeiros em ambiente natural é de aproximadamente 300 kg de frutos por planta a cada safra, com cada fruto podendo pesar até cerca de 75 g, o que varia de planta para planta e de variedade para variedade, onde o classificado como Umbu Gigante se destaca como a que apresenta maior massa de fruto (Donato *et al.*, 2019a).

A alta adaptabilidade da planta ao Semiárido, favorece o cultivo sob sequeiro o que torna o cultivo resistente e estratégico para a convivência com as limitações hídricas e do clima. Além disso, a planta faz parte do conhecimento popular e da renda de muitos agricultores (Matta; Torrezan; Ribeiro, 2019), a disseminação e o fortalecimento da cultura tendem a ser facilitado e melhor incorporado a realidade de pequenos produtores e agricultores familiares.

Além de já fazer parte da vida da população do Semiárido, a planta tem o potencial de contribuir para a recomposição da flora nativa da região, uma vez que é possível realizar o cultivo de forma sustentável, sem a necessidade de desmatamento, podendo ser realizado através do simples incremento de indivíduos arbóreos da espécie nas áreas de Caatinga.

Para Donato *et al.* (2019a), o cultivo do umbuzeiro é fundamental para que a agricultura familiar avance de forma sustentável no semiárido, uma vez que o fruto apresentar uma maior garantia de colheita, um plantio facilitado e menor demanda de insumos externos, além de ser um fruto bastante promissor para o mercado de frutos não convencionais, que vem crescendo potencialmente.

A intensificação da produção e a agroindustrialização do umbu é relevante, uma vez que pode contribuir para a agregação de valor ao fruto (Saturnino; Souza, 2019) e pode ser agente transformador da realidade de muitos agricultores, já que segundo Santos e Oliveira (2001), a implantação de pequenas unidades de beneficiamento de frutas nativas pode gerar um aumento de 90% da renda de pequenos produtores na região semiárida.

Diante do potencial do umbuzeiro, diversas pesquisas nas áreas de produção de mudas e indução floral, inicialmente para enriquecimento da caatinga começaram a ser realizadas. Para Donato *et al.* (2019b), a caracterização genética e agrônômica é essencial para o melhoramento e potencializa a possibilidade de se explorar economicamente uma determinada espécie. Com isso, os estudos têm se voltado para essas caracterizações, visando fins produtivos, com a prospecção de umbuzeiros com maior potencial em toda a região semiárida.

Nesse contexto, desde a década de 1990 que a Embrapa Semiárido e a EPAMIG iniciaram os trabalhos para a prospecção e seleção de materiais, com a criação de bancos de

germoplasma de umbuzeiros, objetivando a preservação genética da espécie e a melhoria da produção.

Com isso, desde a década de 2000, essas instituições têm desenvolvido e distribuído os melhores cultivares para que sejam cultivados e analisados em campo. Contudo, os estudos sobre as relações hídricas e o comportamento estomático dos diferentes cultivares existentes são importantes, porém ainda escassos, sendo necessário a continuidade dos estudos para o avanço do cultivo comercial do umbuzeiro no Semiárido.

Quando se considera os indicadores socioagropecuários quanto a produção brasileira dos frutos, foram produzidas 12.771 toneladas em 2021, sendo o estado da Bahia o maior produtor com cerca de 5.603 toneladas (IBGE, 2022). A produção de 2021 foi bem mais expressiva que a do ano de 2018, quando a produção foi de 7.765 toneladas, valores esses que poderiam ser maiores se não houvesse a dificuldade em contabilizar totalmente a produção, devido principalmente à pouca expressividade da exploração em nível comercial quando comparada a extrativista (Batista *et al.*, 2015).

A região de Guanambi – BA, local onde esse estudo se desenvolveu possui grande aceitabilidade do fruto e já se destaca no cenário nacional, uma vez que a Bahia é o maior estado produtor a nível nacional e pelo fato do produto já ser comercializado na cidade e região, tendo uma demanda que sobrepõe a oferta. Além disso, segundo o IBGE, Espinosa – MG, que se localiza a cerca de 90 km de Guanambi, produziu 2,3 mil toneladas do fruto em 2023.

Esses resultados evidenciam a relevância da produção do umbu como uma alternativa que além de valorizar a Caatinga, contribui para a renda dos agricultores e para o favorecimento do desenvolvimento sustentável da região.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização

As plantas estudadas correspondem a cultivar de umbuzeiro BRS-68 (EPAMIG-01), pertencentes a Coleção de Acessos de Umbuzeiros e Umbu-Cajazeiras do Instituto Federal Baiano, *Campus* Guanambi-BA, sob as coordenadas 14°17'37"S; 42°41'51"O, no Distrito de Ceraíma (Figura 1). A localidade está a uma altitude de 545 m, possui solo classificado como Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico, típico A fraco, com textura média. A área

pertence a Região Semiárida, caatinga hipoxerofítica, com uma precipitação anual de 680 mm, distribuída de outubro a março, e apresenta uma temperatura média 26 °C (Arantes, 2016).

Figura 1. Localização da Coleção de Acessos de Umbuzeiro e Umbu-cajazeira do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, *Campus Guanambi*.



Fonte: Google Earth, 2025.

3.2. Instalação e condução do experimento

A cultivar BRS-68 (EPAMIG-01) corresponde a mudas enxertadas produzidas e fornecidas pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais – EPAMIG Norte, com matriz de procedência de Lontra-MG.

Os genótipos que compõe a Coleção do IF Baiano foram plantados no início do período chuvoso de 2007, com espaçamento em quincôncio de 8 x 8 x 8 m e mantidos sob o cultivo de sequeiro (Donato *et al.*, 2019c).

As práticas de manejo da cultura foram conforme recomendações técnicas previstas para a cultura. Foram realizadas adubação de cobertura no início e no final da estação chuvosa, controle fitossanitário, capina no meio e após da estação chuvosa, e no início da estação seca, e podas quando necessário, para controle de brotações porta-enxerto (Donato *et al.*, 2023).

As plantas referentes a cultivar de umbuzeiro BRS-68 estão dispostas em delineamento experimental inteiramente casualizado. Para o desenvolvimento da pesquisa, foram selecionadas as duas repetições mais vigorosas do cultivar, denominadas BRS-68 (R1) (Figura 2A) e BRS-68 (R2) (Figura 2B).

Figura 2. Plantas estudadas do cultivar de umbuzeiro: BRS-68 (R1) (A); BRS-68 (R2) (B).



Foto: Renata Carvalho Santana, 2024.

3.3. Descrição das Condições Ambientais

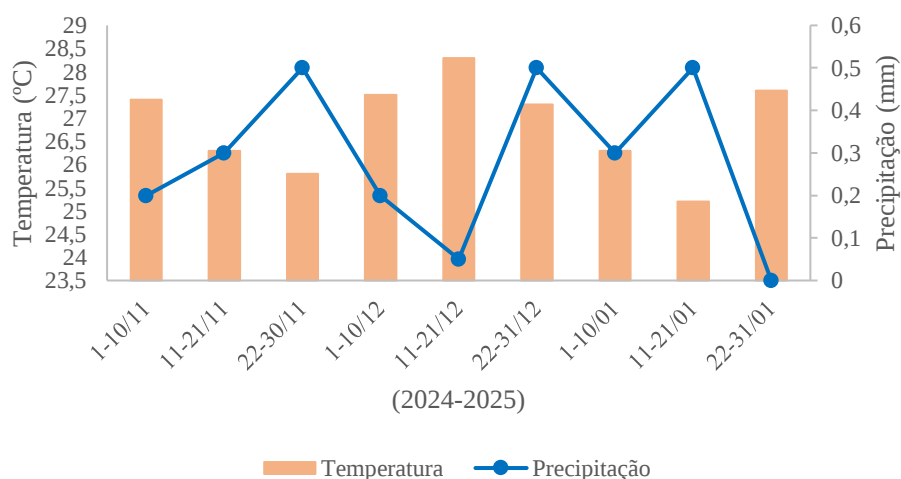
As temperaturas máximas e mínimas, a umidade relativa do ar, a precipitação pluvial, a evapotranspiração, o déficit por pressão de vapor, a radiação solar e a velocidade média e máxima do vento nos dias e horários das medições, foram coletados na Estação Meteorológica Automática, instalada próximo à área experimental do Instituto Federal Baiano, *Campus* Guanambi, conforme apresentado na Tabela 1 e nas Figuras 3 e 4.

Tabela 1. Temperatura máxima ($T_{\text{máx}}$) e mínima ($T_{\text{mín}}$), umidade relativa média (UR), precipitação (P), evapotranspiração de referência (ET_o), déficit de pressão de vapor (DPV), Radiação Solar Global (Rad), velocidade do vento média ($VV_{\text{méd}}$) e máxima ($VV_{\text{máx}}$) registradas nos dias e horários das mensurações fisiológicas realizadas no cultivar de umbuzeiro. Guanambi, BA.

Data	Horário	$T_{\text{méd}}$	$T_{\text{máx}}$	$T_{\text{mín}}$	UR	P	ET_o	DPV	Rad	$VV_{\text{méd}}$	$VV_{\text{máx}}$
		(°C)			(%)	(mm h ⁻¹)	(mm h ⁻¹)	(kPa)	(MJ m ⁻² dia ⁻¹)	(m s ⁻¹)	
25/11/24	8h	21,7	21,8	21,5	82	0	0,10	0,47	7,91	4,5	11,6
	14h	25,3	25,6	24,7	74	0	0,63	0,84	77,93	3,6	8,5
13/12/24	8h	23,9	23,9	23,8	78	0	0,08	0,65	6,71	1,3	6,7
	14h	30,2	30,4	29,8	61	0	0,74	1,67	86,70	2,7	6,3
07/01/25	8h	24,2	24,2	22,3	89	0	0,08	0,33	11,18	0,4	2,2
	14h	25,8	30,4	25,4	76	0	0,13	0,80	10,75	1,8	6,7
28/01/25	8h	25,3	25,3	24,2	74	0	0,08	0,84	8,09	1,3	4,9
	14h	32,4	32,4	31,3	53	0	0,58	2,28	75,09	0,9	2,7

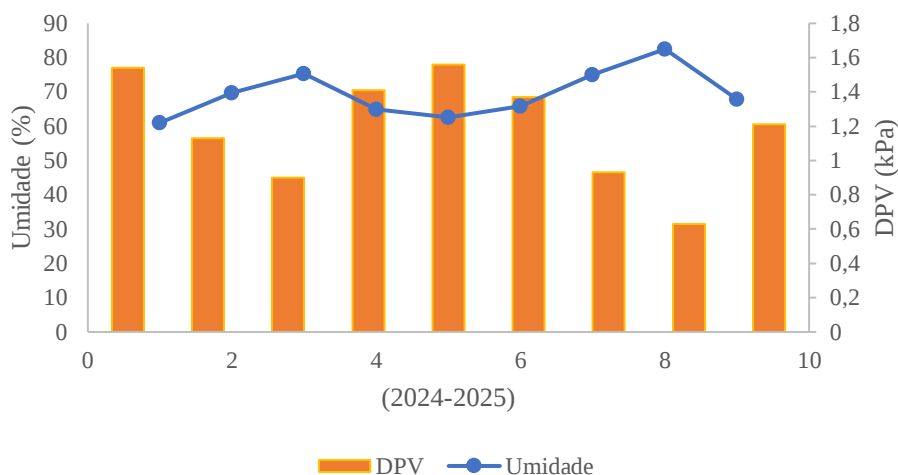
Fonte: Estação automática do Instituto Federal Baiano, *Campus* Guanambi.

Figura 3. Condições de temperatura e precipitação período de novembro de 2024 a janeiro de 2025 em Guanambi-BA.



Fonte: Estação automática do Instituto Federal Baiano, *Campus* Guanambi.

Figura 4. Condições de umidade e de déficit de pressão de vapor no período de novembro de 2024 a janeiro de 2025 em Guanambi-BA.



Fonte: Estação automática do Instituto Federal Baiano, *Campus* Guanambi.

Durante o período estudado, as condições predominantes variaram entre dias nublados a ensolarados. Nos dias avaliados, houve predominância de alta incidência solar com a presença de algumas nuvens, e níveis de moderados a baixos de umidade relativa durante a tarde, exceto em dezembro, que apresentou alta nebulosidade. Essas características são típicas do período chuvoso intermitente no semiárido, quando predominam dias de céu limpo intercalados com episódios curtos de chuva.

Nas datas analisadas, a temperatura máxima foi de 32,4 °C, em 28/01/25 às 14h, e a mínima foi de 21,5 no dia 25/11/24 às 8h. A umidade relativa variou de 53% (28/01/25 às 14h) a 89% (07/01/2025 às 8h). Quanto a precipitação, apesar da ocorrência de chuvas no período, nos dias avaliados não ocorreu chuvas. A evapotranspiração variou de 0,08 mm h⁻¹ (13/12/2024; 07/01/2025; 28/01/2025 às 8h) à 0,74 mm h⁻¹ (13/12/2025 às 14h). A radiação variou de 6,71 MJ m⁻² dia⁻¹ (13/12/2024 às 8h) à 86,70 MJ m⁻² dia⁻¹ (13/12/2024 às 14h). A velocidade do vento apresentou máxima de 11,6 m s⁻¹ (25/11/2024 às 8h) e média variando de 0,4 à 4,5 m s⁻¹ (07/01/2025 às 8h).

3.4. Variáveis Analisadas

Foram mensuradas as Trocas Gasosas, o Índice de Clorofila, Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR) e o Índice de Área Foliar (IAF), em duas plantas do cultivar BRS-68. Foram realizadas medições nos sentidos Norte, Sul, Leste e Oeste em cada planta, em dois horários do dia, às 8 e às 14 horas, e em quatro diferentes datas, distribuídas ao longo de 3 meses.

As mensurações foram realizadas em quatro diferentes épocas, no período de novembro de 2024 a janeiro de 2025, correspondendo às datas 25/11, 13/12, 07/01 e 28/01, compreendendo o fim do período seco e início do período chuvoso, que correspondeu ao período de floração e início da frutificação da planta (Figura 5).

Figura 5. Registro da floração (A) e frutificação do cultivar BRS-68 de umbuzeiro (B).

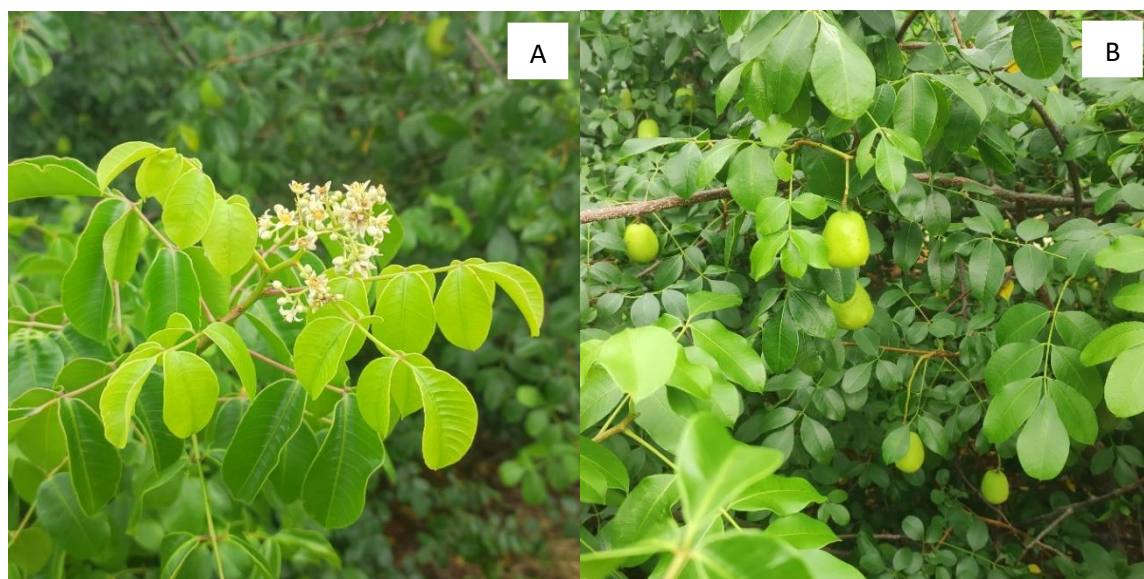


Foto: Renata Carvalho Santana, 2024.

A mensuração das trocas gasosas, da temperatura foliar e da radiação incidente nas folhas foram realizadas com auxílio do analisador de gás a infravermelho (IRGA) modelo Lcpro+® Portable Photosynthesis System (ADC BioScientific Limited, UK) (Figura 6A), com temperatura e irradiância ambiente e fluxo de ar de 200 ml min^{-1} , com o escudo de radiação voltado para o sol. A Clorofila foi medida com o uso do Clorofilog CFL 1030 Falker® (Figura 6B) e o Índice de Área Foliar (IAF) com o instrumento AccuPAR modelo LP PAR 80 com sensor externo e com interceptação de luz (Figura 6C). Essas medições foram realizadas juntamente com as de trocas gasosas.

Figura 6. Analisador de gás a infravermelho (IRGA) modelo Lcpro+® Portable Photosynthesis System (ADC BioScientific Limited, UK) (A); Medidor de clorofila, Clorofilog CFL 1030 Falker ® (B); Aparelho AccuPAR, modelo LP PAR 80 (C).



Fotos: Renata Carvalho Santana, 2025.

As taxas fisiológicas mensuradas foram: radiação incidente na folha (Q_{leaf}) ($\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); temperatura foliar (T_{leaf}) ($^{\circ}\text{C}$); concentrao interna de CO_2 (C_i) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$); condutância estomática (g_s) ($\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); transpirao (E) ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); fotossíntese líquida (A) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); eficincia instantnea de uso da gua (A/E) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); eficincia de carboxilao (A/C_i) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$); eficincia quntica ou fotoquímica da fotossíntese (A/Q_{leaf}) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$); eficiência intrínseca do uso da gua (A/g_s) ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

No que se refere às outras variáveis analisadas, foi quantificada a Clorofila a , b e $total$ (adimensional), que compõem o ndice de Clorofila, a Radiao Fotossinteticamente Ativa (PAR), através da mensurao da Radiao fotossinteticamente ativa medida acima da copa (PARa) ($\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), da Radiao fotossinteticamente ativa medida abaixo da copa (PARb) ($\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e do Coeficiente de transmitância da radiao (τ) (adimensional, 0-1), parâmetros derivados ligados  interceptao da radiao, e, quanto ao ndice de rea Foliar (IAF) ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$), mediu-se a Frao de Radiao Difusa (FB) (adimensional, 0-1), fator de correo do cálculo do IAF.

3.5. Caracterização estomática

Os estudos quanto a densidade estomática e a abertura e fechamento dos estômatos foram realizados através da obtenção da impressão foliar com a utilização de lâminas de vidro para microscópio e adesivo instantâneo. Esse método que permite registrar as condições estomáticas em campo e concomitantemente às medições e sem a remoção das folhas, além de permitir que a análise estomática seja realizada posteriormente, a qualquer momento, em laboratório (Ceolin, 2018).

Dessa forma, as impressões foliares foram realizadas na face abaxial da folha e coletadas no momento das medições, sendo posteriormente selecionadas e analisadas em laboratório no microscópio óptico. A seleção resultou em uma lâmina para cada planta, horário e dia de análise, priorizando as que apresentavam melhor visualização da epiderme foliar.

Na etapa de laboratório foi realizada a análise das lâminas e o registro fotográfico (Figura 7). Para viabilizar as mensurações quanto à densidade e número de estômatos abertos e fechados, as lâminas foram delimitadas com lâmina micrométrica em áreas de 1 mm², e foram avaliadas nas objetivas de 10x e 40x, para mensuração da densidade e análise da abertura estomática, respectivamente.

Após gerar as imagens digitais dos estômatos, a quantificação dos estômatos foi feita utilizando software de análise de imagem ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA) (Martin *et al.*, 2013).

Figura 7. Lâmina com impressão epidérmica (A) e fotomicrografia de estômatos (B).

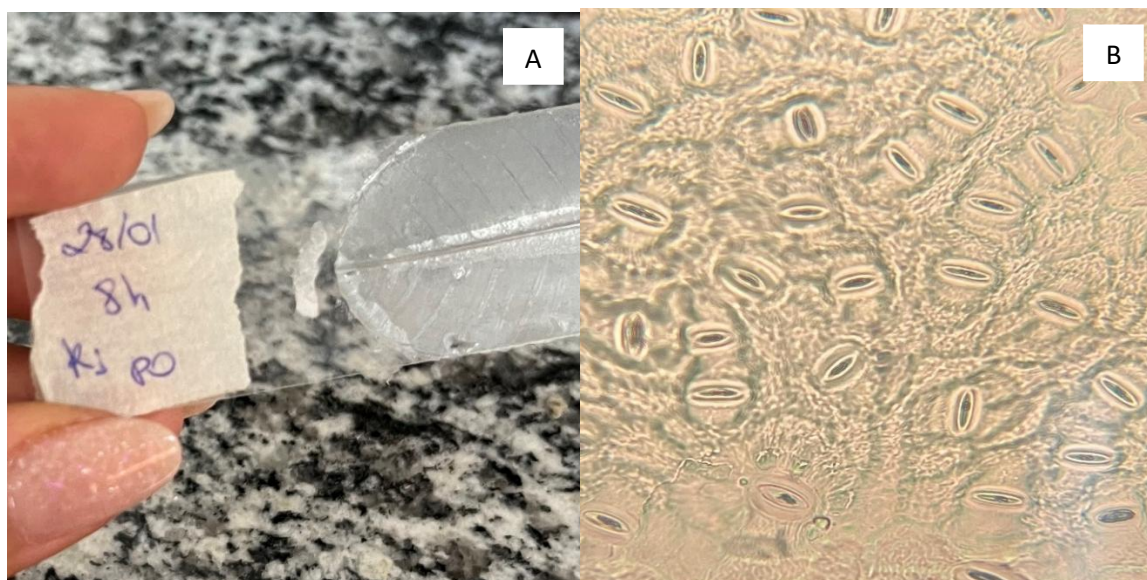


Foto: Renata Carvalho Santana, 2024.

3.6. Análise Estatística

O experimento foi analisado em delineamento casualizado, e todos os dados das variáveis fisiológicas, do índice da clorofila e do índice de área foliar foram submetidos à análise de variância e os desdobramentos das interações se deram conforme a sua significância. As médias dessas variáveis foram comparadas pelo teste F e de Tukey ($p < 0,05$) para os fatores datas e horários de leitura, utilizando-se o software estatístico SISVAR (Ferreira, 2000).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Trocas Gasosas

As trocas gasosas apresentaram interação significativa para os dois fatores em estudo, épocas e horários, para todas as variáveis, conforme apresentado nas tabelas 2 e 3. Os resultados para Radiação fotossinteticamente ativa na superfície foliar (Q_{leaf}), temperatura foliar (T_{leaf}), condutância estomática (g_s), taxa de fotossíntese (A), transpiração (E), concentração interna de CO_2 (C_i), eficiência quântica da fotossíntese (A/Q_{leaf}), eficiência de carboxilação (A/C_i), eficiência instantânea de uso da água (A/E), e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s), estão expressos na tabela 4.

Tabela 2. Análise de variância com os respectivos quadrados médios da Radiação fotossinteticamente ativa na superfície foliar (Q_{leaf}), temperatura foliar (T_{leaf}), condutância estomática (g_s), taxa de fotossíntese (A), transpiração (E) e concentração interna de CO_2 (C_i) em cultivar de umbuzeiro ‘BRS-68’ em Guanambi, BA.

ANOVA							
Trocas gasosas – Variáveis fisiológicas							
FV	GL	QM					
		Q_{leaf}	T_{leaf}	A	g_s	E	C_i
Data	3	15109518.76*	470.41*	871,09*	0,01*	25.33*	338144.54*
Hor	1	4106992.50*	938.98*	683,12*	0,00*	13.62*	39588.79*
Data x Hor	3	1410696.04*	54.14*	85,94*	0,00*	5.91*	38421.18*
Rep	23	215057.06*	14,46*	27,87*	0,00*	1,15*	8489.28*

FV: fontes de variação; GL: grau de liberdade; * significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 3. Análise de variância com os respectivos quadrados médios da eficiência quântica da fotossíntese (A/Q_{leaf}), eficiência de carboxilação (A/C_i), eficiência instantânea de uso da água (A/E) e eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s) em cultivar de umbuzeiro ‘BRS-68’ em Guanambi, BA.

ANOVA					
Trocas gasosas – Relações fisiológicas					
FV	GL	QM			
		A/Q_{leaf}	A/C_i	A/E	A/g_s
Data	3	0,00*	0,01*	21,94*	83307,66*
Hor	1	0,00*	0,00*	400,45*	42463,81*
Data x Hor	3	0,00*	0,00*	15,60*	9568,16*
Rep	23	0,00*	0,00*	7,20*	3768,59*

FV: fontes de variação; GL: grau de liberdade; * significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 4. Variáveis fisiológicas avaliadas em umbuzeiro ‘BRS-68’, em quatro datas, às 8 e 14 horas em Guanambi, BA, 2024-2025.

Variáveis	Horários	Épocas				Média	CV
		I	II	III	IV		
Q_{leaf}	8h	1400 Ba	328 Aa	1259 Ba	1066 Ba	1160	32
	14h	1430Ba	312Aa	1724Bb	1757Bb		
T_{leaf}	8h	31,4 Aa	30,0 Aa	36,2 Ba	35,9 Ba	35	2
	14h	34,9 Ab	35,6 ABb	38,1 Ba	42,6 Cb		
A	8h	15,14 Bb	9,13 Ab	16,84 Ba	14,72 Ba	12,07	37,64
	14h	9,54 Ba	2,85 Aa	14,11 BCa	14,23 Ca		
g_s	8h	0,0975 Ba	0,0729 Ab	0,0958 ABa	0,0783 ABa	0,08	30
	14h	0,1083 Ca	0,0391 Aa	0,0825 Ba	0,0762 Ba		
E	8h	2,12 Aba	1,43 Aa	2,70 Ba	2,31 Ba	2,41	27
	14h	2,84 Bb	1,31 Aa	2,79 Ba	3,75 Cb		
C_i	8h	440 Aba	503 Ba	386 Aa	371 Aa	440	20
	14h	528 Bb	565 Ba	388Aa	335Aa		
A/Q_{leaf}	8h	0,0128 Aa	0,0274 BCb	0,0169 ABa	0,0330 Cb	0,01	105
	14h	0,0069 Aa	0,0089 Aa	0,0082 Aa	0,0110 Aa		
A/C_i	8h	0,0362 ABb	0,0201 Ab	0,0505 Ba	0,0422 Ba	0,03	59
	14h	0,0189 Aa	0,0060 Aa	0,0427 Ba	0,0496 Ba		
A/E	8h	7,30 Ab	6,28 Ab	6,71 Ab	6,42 Ab	5,23	36
	14h	3,57 Aba	2,34 Aa	5,15 Ba	4,11 ABa		
A/g_s	8h	159,17 ABb	124,04 Ab	186,38 Ba	192,05 Ba	150	36
	14h	93,96 Aa	84,77 Aa	175,24 Ba	188,71 Ba		

Médias seguidas por letras iguais minúsculas, na coluna para os horários, e maiúsculas, na linha para datas, não diferem significativamente.

4.1.1. Radiação fotossinteticamente ativa na superfície foliar (Q_{leaf})

A radiação fotossinteticamente ativa na superfície foliar corresponde à intensidade de fótons na faixa de 400–700 nm incidente sobre a folha, que está disponível para a fotossíntese, ou seja, a quantidade de fótons nesse intervalo espectral efetivamente disponível para excitar a clorofila e dirigir o processo fotossintético (Taiz *et al.*, 2017).

A radiação fotossinteticamente ativa se manteve constante ao longo das épocas de medições, com exceção da data 13/12/24, que registrou valores mais baixos. Essa redução da radiação no mês de dezembro se deu devido a ocorrência de dias nublados, inclusive no momento das mensurações. Nos meses de novembro e janeiro, os valores mais altos refletem céu mais limpo e maior disponibilidade de radiação incidente, o que aumenta a energia disponível para a fotossíntese.

Quanto ao efeito do horário, a comparação mostra que em novembro e dezembro não houve diferenças significativas. Já em janeiro, os valores às 14h foram significativamente maiores, o que se relaciona com a influência da posição solar no semiárido, onde a radiação atinge o pico próximo ao meio-dia e se mantém elevada até o início da tarde, comportamento considerado típico para a radiação solar em regiões tropicais e semiáridas (Souza *et al.*, 2023).

O aumento de Q_{leaf} à tarde em janeiro sugere que havia maior energia disponível para fotossíntese, mas isso nem sempre implica maior assimilação de CO₂, já que fatores como temperatura elevada e DPV alto podem limitar a abertura estomática e aumentar o risco de estresse hídrico. Diante dessa relação, o valor muito baixo em dezembro para Q_{leaf} ajuda a explicar os altos valores de C_i observados nesse mesmo período, pois com a redução da radiação há um menor consumo de CO₂, fazendo com que este acumule e eleve o valor de C_i .

Esses resultados reforçam a plasticidade fisiológica do umbuzeiro, que ajusta sua atividade fotossintética às variações de radiação (Lima Filho; Aidar, 2016). A espécie consegue aproveitar bem a radiação disponível em períodos de alta luminosidade, mas também mantém funcionamento sob condições de baixa irradiância, o que pode ser uma vantagem adaptativa no semiárido, principalmente no período chuvoso, onde nuvens e chuvas podem alterar rapidamente a disponibilidade de luz.

Esse comportamento é sustentado por evidências fisiológicas, descritas por Lima Filho (2011; 2008), ao abordar as trocas gasosas e fenologia dos umbuzeiros, bem como, quanto aos mecanismos de manutenção do estado hídrico e osmótico, observados em diferentes genótipos (Lima Filho, 2001; Silva *et al.*, 2009).

4.1.2. Temperatura foliar (T_{leaf})

A temperatura foliar (T_{leaf}) é a temperatura da superfície da folha, determinada pelo balanço entre energia absorvida da radiação, perda de calor por transpiração e condução térmica, sendo um fator que influencia a fotossíntese e a transpiração (Taiz *et al.*, 2017).

A temperatura foliar média variou entre as datas de avaliação, onde no mês de dezembro às 8h, foi registrado 30,0 °C, que foi o menor valor medido, evidenciando condições mais amenas. O mês de janeiro concentrou os maiores valores, principalmente no dia 28/01 às 14h, quando foi registrada a maior média atingindo 42,6 °C.

Quanto ao horário do dia, com exceção do dia 07/01/25, em todas as datas, a T_{leaf} foi maior às 14h do que às 8h, resultado dentro do esperado, pois ao longo do dia há o aumento da radiação solar e da temperatura ambiente. Os valores variaram de 30 °C, às 8h em dezembro, até 42,6 °C, às 14h em janeiro, coerente com a temperatura externa para a data e horário que foi de 32,4 °C, a mais elevada no período analisado, o que evidencia que as folhas podem atingir temperaturas bem acima da temperatura do ar.

Em estudo realizado por Donato *et al.* (2023), o cultivar chegou a registrar valores ainda mais elevados, chegando a 44,7 °C em 19 janeiro de 2021. Além disso, ao comparar as médias entre os horários de medição, que também foram às 8h e 14h, os autores observaram que o período da tarde registrou média significativamente superior à da manhã, assim como mensurado neste estudo.

Ao relacionar os resultados obtidos com as demais taxas mensuradas, é possível observar que os maiores valores de T_{leaf} coincidem com as datas e horários de maior radiação incidente (Q_{leaf}). Isso evidencia como a absorção de energia luminosa aquece a superfície foliar, elevando sua temperatura acima da do ar, mostrando que a radiação incidente foi determinante para o aquecimento foliar.

A temperatura foliar (T_{leaf}) manteve-se consistentemente superior à temperatura do ar em todos os dias e horários avaliados, com diferenças variando de 5,5 °C a 12,95 °C. O maior aquecimento relativo ocorreu em 07/01/25 às 8h, quando a T_{leaf} atingiu 36,2 °C frente

a uma temperatura média do ar de apenas 23,25 °C, representando um acréscimo de 56% acima da temperatura externa. Esse comportamento evidencia que, mesmo nas primeiras horas da manhã, a radiação incidente foi suficiente para elevar substancialmente a temperatura foliar, possivelmente em função da baixa velocidade do vento registrada nesse horário, que reduziu a dissipação de calor.

Em estudo realizado por Donato *et al.* (2022) envolvendo o cultivar BRS-68 da mesma Coleção em Guanambi, os autores observaram que a T_{leaf} aumentou 0,75 °C a cada 1 °C de temperatura do ar para esse cultivar, valor mais baixo do que o observado, onde o aumento foi em média de 1,375 °C.

Os menores acréscimos de temperatura foram observados em dezembro à tarde, período marcado por maior nebulosidade, o que atenuou o aquecimento da superfície foliar. Esses resultados confirmam que o balanço de energia da folha depende não apenas da temperatura do ar, mas também da interação entre radiação, vento e abertura estomática.

Valores foliares muito altos, acima de 40 °C, como observado em 28/01/25 às 14h, são considerados críticos para muitas espécies tropicais, pois afeta o funcionamento do aparato fotossintético, uma vez que temperaturas elevadas podem causar a desnaturação parcial de enzimas, reduzir a eficiência da rubisco e até mesmo desbalancear a fotossíntese e a fotorespiração (Taiz *et al.*, 2017; Larcher, 2006).

Esses resultados demonstram que no caso do umbuzeiro, devido a sua adaptação a ambientes mais áridos, apesar das altas temperaturas, a espécie ainda mantém atividade fotossintética nessas condições, o que é interessante em plantas de metabolismo C3, pois a eficiência da fotossíntese é muito influenciada pela temperatura (Figueirêdo *et al.*, 2013). Essas observações são relevantes, pois os efeitos do aumento da temperatura na fotossíntese é um dos principais determinantes na produtividade das culturas frente aos impactos do aquecimento global, como já vinha sendo discutido por Ainsworth; Ort (2010).

Geralmente as maiores médias de T_{leaf} estão atrelados à menores taxas de fotossíntese, como registrado por Donato *et al.* (2023). Porém, nos resultados obtidos durante a presente análise, mostram que os maiores valores da temperatura do ar e de T_{leaf} em janeiro, estiveram atrelados a valores de A e E acima da média, a um menor C_i e g_s mais elevado. Esse padrão pode estar relacionado à maior disponibilidade hídrica, reduzindo o efeito da temperatura para os meses de janeiro, uma vez que o acumulo de chuvas tende a favorecer os processos fisiológicos.

Esses resultados se assemelham aos obtidos por Costa (2023), que observou que a redução da fotossíntese de forma mais acentuada em umbuzeiros na Paraíba se dá em maior parte pelo déficit hídrico, diferentemente na estação chuvosa a planta tende a manter valores mais elevados dessa taxa. Ademais, no trabalho do autor, registou-se menores valores para A , E e g_s no período seco, enquanto na estação chuvosa os valores para esses parâmetros foram superiores mesmo com temperaturas atmosféricas em torno de 30 °C, assim como registrado para o período avaliado no presente estudo.

4.1.3. Taxa de fotossíntese (A)

A taxa de fotossíntese corresponde à velocidade de assimilação líquida de CO_2 pela folha, determinada pela atividade do aparelho fotossintético, disponibilidade de luz e CO_2 , e pelas condições ambientais (Taiz *et al.*, 2017).

Quanto a essa taxa, houve variação significativa da taxa de fotossíntese entre as épocas avaliadas e os horários do dia. Nas duas primeiras mensurações, a taxa de fotossíntese caiu ao longo do dia, já nas duas últimas, a taxa manteve-se estatisticamente igual.

Em novembro, a taxa foi de 15,14 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ às 8h e reduziu para 9,54 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ às 14h, indicando menor atividade fotossintética no período mais quente. Esses resultados evidenciaram redução na fotossíntese em relação ao período da tarde, o que pode estar atrelado à maior susceptibilidade da planta as condições menos favoráveis no período da tarde.

Essa tendência de redução também foi registrada por Barros (2022) e Donato *et al* (2023), ao estudar os cultivares de umbuzeiro da coleção de Guanambi, incluindo o BRS-68, quando observou que os valores de A foram significativamente maiores pela manhã, atrelando essa redução entre horários à elevação da temperatura do ar, da temperatura foliar e do DPV no período vespertino, condições climáticas semelhantes às observadas neste estudo. Ademais, ao analisar umbuzeiros em estudo semelhante, Lima Filho (2004) também observou uma redução da taxa de fotossíntese ao compará-las entre às 8h e às 14h.

Já em dezembro, observaram-se os menores valores, com apenas 9,13 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ às 8h e queda acentuada para 2,85 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ às 14h, revelando limitação fisiológica devido à redução da radiação registrada em Q_{leaf} , devido a predominância de dias nublados. Isso fez com que o mês de dezembro concentrasse as taxas mais baixas de

fotossíntese dentre os dias avaliados, com destaque para o período da tarde que apresentou valores ainda menores do que os da manhã para o mesmo dia.

Quando se observa o comportamento das demais variáveis nesse momento de valor reduzido da fotossíntese, fica perceptível a limitação pela radiação, uma vez que o valor de Q_{leaf} estava baixo, a T_{leaf} média, a C_i alta e o g_s baixo. Isso permite afirmar que a redução na taxa de fotossíntese não se deu devido a limitação de CO_2 , mas possivelmente como uma resposta à baixa radiação incidente, resultando em fechamento estomático como estratégia para retenção de água uma vez que a atividade fotossintética estava limitada.

Entretanto, no mês de janeiro, a primeira mensuração atingiu o maior valor às 8h ($16,84 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), mantendo-se igualmente alta também às 14h ($14,11 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), sem redução significativa entre os horários. Em 28/01/25, também houve equilíbrio, com valores semelhantes entre manhã ($14,72 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e tarde ($14,23 \mu\text{mol } CO_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$).

Observa-se que nesse último mês, as plantas mantiveram valores mais altos de fotossíntese, associada à uma menor concentração interna de CO_2 e g_s elevado, inclusive no período da tarde, quando a T_{leaf} e o DPV estavam elevados, indicando tolerância ao calor e maior capacidade de ajuste fisiológico frente às condições ambientais.

Ademais, apesar desse padrão de redução da fotossíntese à tarde, o umbuzeiro conseguiu manter nesse período uma taxa de fotossíntese semelhante à da manhã no mês de janeiro, principalmente no dia 28/01, quando se registrou pico de temperatura do ar, T_{leaf} e DPV e A manteve-se acima da média.

Esse resultado pode ser atribuído as condições de pluviosidade, uma vez que nesse período já havia ocorrido um acúmulo de chuvas e consequente aumento da disponibilidade hídrica, o que provavelmente teria reduzido o estresse hídrico da planta, favorecendo a manutenção da fotossíntese mais elevada e equilibrada, corroborando com os resultados de Costa (2023).

4.1.4. Condutância estomática (g_s)

A condutância estomática (g_s) é um parâmetro fisiológico que expressa ao fluxo gasoso e de água entre o vegetal e a atmosfera, refletindo na capacidade de assimilação de gases, principalmente do CO_2 e vapor de água, através dos estômatos das folhas. Dessa

forma, a g_s é a responsável por controlar o fluxo através do mesófilo foliar, sendo sensível a múltiplos fatores ambientais (Taiz *et al.*, 2017).

A condutância estomática variou mais entre as datas do que entre os horários, porém manteve uma certa homogeneidade. Registrou-se que a condutância estomática às 8h variou de 0,0729 a 0,0975 mol H₂O m⁻² s⁻¹, entre as datas analisadas, registrando o valor mais altos em novembro, e o menor em dezembro.

Na parte da tarde, os valores foram geralmente similares aos da manhã, variando de 0,0391 a 0,1083 mol H₂O m⁻² s⁻¹, sendo esse último o maior valor de condutância do período analisado, registrado em 25/11/24.

A g_s variou entre os horários apenas em dezembro, indicando que a planta mantém certa estabilidade estomática ao longo do dia, apesar das condições ambientais serem mais adversas à tarde, principalmente com o aumento do DPV, que segundo Lima Filho (2004) e Donato *et al.* (2023), tende a reduzir a g_s à tarde.

O valor reduzido em dezembro relaciona-se com o fechamento dos estômatos no período de limitação de radiação devido a ocorrência de nebulosidade, registrado em Q_{leaf} , quando a planta identificou que a fotossíntese estava inviabilizada e optou pela restrição dos estômatos, evitando a perda de água, uma vez que a assimilação de CO₂ não era prioridade no momento, levando a elevação do C_i e a redução de A , conforme observado para essas variáveis.

Apesar dessa tendência de redução, o BRS-68 não variou entre os horários na maioria dos dias no período analisado, inclusive no dia de maior DPV, no dia 28/01 às 14h, quando a g_s foi significativamente igual entre a manhã e à tarde, mostrando que os estômatos se mantiveram menos restritos mesmo diante das condições desfavoráveis.

Os resultados mostraram que mesmo nos momentos de maior abertura dos estômatos, com valores mais elevados em g_s , favoreceram a assimilação de carbono, sob melhores condições de radiação e de balanço hídrico, mantendo a fotossíntese elevada e estável, corroborando com os resultados para a g_s , obtidos por Costa (2023) na estação chuvosa.

Essas observações destacam a sensibilidade da condutância estomática do umbuzeiro a variações ambientais em um curto espaço de tempo, seja por redução da radiação, pela variação no DPV ou pelo aumento da disponibilidade hídrica, priorizando evitar perda excessiva de água, principalmente em condições de estresse. Isso é consistente com as observações de Ferri (1978), que abordou a capacidade de rápido ajustamento dos estômatos do umbuzeiro frente às alterações ambientais.

4.1.5. Taxa de Transpiração (E)

A taxa de transpiração (E) corresponde à velocidade com que ocorre a perda de vapor d'água das folhas para a atmosfera, principalmente por meio dos estômatos. Essa taxa depende da diferença de concentração de vapor d'água do interior da folha para a atmosfera, sendo modulada por fatores ambientais como radiação, temperatura, umidade relativa e déficit de pressão de vapor, bem como, pelo grau de abertura estomática (Taiz *et al.*, 2017).

A taxa de transpiração (E) variou significativamente entre as datas e horários avaliados. Em média, os valores foram de $2,41 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, com coeficiente de variação de 27%, indicando oscilação moderada ao longo do período experimental.

Na primeira data de avaliação, a transpiração foi maior às 14h do que em relação às 8h. Já em dezembro, os valores foram baixos e sem diferença entre os horários, sugerindo condições ambientais mais amenas ou ajuste fisiológico da planta para restringir a perda de água, provocado pela menor radiação. Em 07/01/2025, a taxa foi elevada já nas primeiras horas da manhã, mantendo-se em nível semelhante no turno da tarde. Em 28/01/2025, no entanto, registrou-se o maior valor de todo o período às 14h, onde foi registrado $3,75 \text{ mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, valor também superior ao observado às 8h.

Diante disso, nota-se que o aumento mais expressivo na transpiração ocorreu no dia 28/01 às 14h, momento de maior temperatura e maior DPV, quando o umbuzeiro realizou o ajuste da condutância estomática, reduzindo-a para um pouco abaixo da média para controlar a condição de estresse, evitando perdas excessivas, e ao mesmo tempo permitindo a atividade fotossintética.

A maior transpiração no período da tarde está associada à necessidade de dissipação do calor foliar, estratégia já descrita em espécies lenhosas da Caatinga que apresentam ajuste estomático dinâmico conforme a disponibilidade de radiação, intensidade da temperatura e da demanda evaporativa (Mesquita; Dantas; Cairo, 2018).

Ao relacionar os resultados de E com os de outras variáveis, é perceptível que E variou entre as datas e horários, acompanhando, em grande parte, a demanda atmosférica e disponibilidade energética. O maior valor de E coincidiu com os valores mais elevados da T_{leaf} e da Q_{leaf} , indicando forte influência do ambiente sobre a perda de água. Quanto a isso, de acordo com Taiz *et al.* (2017), a abertura estomática em condições de maior luminosidade

aumenta o fluxo de vapor d'água, contribuindo para a manutenção da temperatura foliar em níveis adequados à fotossíntese, apesar de intensificar a perda hídrica.

A relação entre E e A mostrou-se variável. Em 07/01 e 28/01, o aumento de E foi acompanhado por valores elevados de A , sugerindo que a maior abertura estomática favoreceu tanto o fluxo de vapor quanto a assimilação de CO_2 . Por outro lado, em 25/11 à tarde, E aumentou enquanto A foi relativamente baixo, evidenciando perda hídrica não acompanhada por ganho proporcional em carbono.

O valor mais baixo de transpiração, no dia 13/12/24 às 14h, coincidiu com o momento em que a taxa de fotossíntese foi mais baixa, juntamente com a Q_{leaf} mais baixa, com o valor de C_i mais alto e o valor de g_s mais baixo. Isso sugere que a radiação pode ter limitado a fotossíntese, levando a planta a realizar o fechamento estomático uma vez que a assimilação de CO_2 não estava sendo demandada pela atividade fotossintética, priorizando assim a redução da perda de água, justificando a redução de E .

Em contraste, em 07/01 e 28/01, E elevado foi acompanhado de maior taxa de fotossíntese e de menor C_i , bem como, g_s médio e Q_{leaf} mais elevado, indicando maior capacidade de fixação de carbono, o que justifica o maior custo hídrico observado. Esse conjunto de respostas indica que, nesse contexto, as plantas operaram em um regime fisiológico mais eficiente, evidenciando o bom desempenho do aparato fotossintético, onde o custo hídrico associado ao aumento da transpiração foi compensado por ganhos expressivos na assimilação de carbono, refletindo uma estratégia eficiente de uso dos recursos ambientais disponíveis.

Dessa forma, a transpiração foi modulada por fatores ambientais, como temperatura e radiação, e pela condutância estomática, mas os maiores valores de E vieram atrelados à elevação da atividade fotossintética, dessa forma, o aumento de E , pela manhã em novembro e no mês de janeiro, se mostrou compensatório.

Assim, os resultados indicam que o cultivar BRS-68 apresenta variações temporais na transpiração, respondendo tanto a fatores ambientais sazonais quanto as mudanças ao longo do dia. Essa regulação sugere um balanço entre manutenção da assimilação de carbono e controle da perda de água, característica essencial para a sobrevivência em ambientes de clima semiárido (Chaves *et al.*, 2003; Larcher, 2006).

4.1.6. Concentração interna de CO_2 (C_i)

A C_i em um determinado vegetal é um parâmetro chave, pois reflete o balanço entre entrada de CO_2 via estômatos e consumo de CO_2 pelo metabolismo fotossintético (Taiz *et al.*, 2017).

A C_i variou entre as datas, concentrando os maiores valores em novembro e dezembro, sendo que no mês de dezembro registrou-se a maior média, correspondendo à $565 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ às 14h. Já os menores valores se concentraram no mês de janeiro, especialmente no dia 28/01, onde foi registrada $335 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$, a menor média.

Já entre os horários, as diferenças foram pouco marcantes, sugerindo que o efeito do horário foi menor que o da época. Apenas no mês de novembro houve diferença significativa entre os períodos da manhã e da tarde, refletindo a manutenção da estabilidade estomática ao longo do dia, mesmo em condições mais quentes no período da tarde, como visto em g_s .

O maior C_i registrado na tarde de dezembro está associado à menor taxa de fotossíntese, que apresentou apenas $2,85 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, e ao fechamento estomático, quando g_s registrou $0,0391 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, que correspondem as menores médias para essas variáveis, levando ao acúmulo interno de CO_2 , provocado pela redução da taxa de fotossíntese devido a menor radiação incidente. De maneira oposta, os maiores valores de g_s em janeiro se relacionam com maiores taxas de fotossíntese, demonstrando boa resposta fotossintética atrelada e menor restrição estomática devido a maior incidência de radiação e ao incremento hídrico.

A ausência de diferenças marcantes entre manhã e tarde sugere que a C_i se manteve estável ao longo do dia, possivelmente pela capacidade de ajuste estomático, correspondendo a capacidade de resiliência fisiológica que o umbuzeiro apresenta no ambiente semiárido.

Os resultados obtidos podem ser justificados pela influência das condições ambientais ao longo do período analisado, que compreendeu do início do período chuvoso até o mês de janeiro, o que exerceu influência na radiação e no balanço hídrico.

4.1.7. Eficiência quântica da fotossíntese (A/Q_{leaf})

A eficiência quântica é um indicador de eficiência do uso da luz, pois mostra quão bem a planta está convertendo energia luminosa em carbono fixado, ou seja, mede quanto de CO_2 é fixado pela planta para cada fóton de luz absorvido durante a fotossíntese. Com isso, a eficiência quântica é uma relação entre a assimilação líquida de CO_2 (A) e a radiação fotossinteticamente ativa absorvida pela folha (Q_{leaf}) (Taiz *et al.*, 2017).

Ao avaliar essa eficiência é possível observar a suscetibilidade do cultivar ao estresse ambiental, uma vez que a eficiência tem uma tendência de cair sob estresse hídrico, excesso de radiação e altas temperaturas, pois os estômatos fecham e a bioquímica da fotossíntese é afetada. Ademais, essas informações permitem uma comparação entre genótipos, possibilitando identificar quais cultivares conseguem manter maior aproveitamento da luz em diferentes condições.

Os valores médios da eficiência quântica foram relativamente baixos, variando de 0,0069 a 0,0330 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\mu\text{mol fóton m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. A eficiência variou quanto às épocas apenas no período da manhã, com destaque ao dia 28/01/25 às 8h, onde a taxa alcançou o maior valor observado.

Quanto a variação entre horários, no geral, a eficiência quântica se manteve constante, ficando os maiores valores concentrados às 8h com uma leve diminuição às 14h, porém essa redução só foi significativa no mês de dezembro e no final de janeiro.

A redução observada na eficiência quântica da fotossíntese (A/Q_{leaf}) no período da tarde no mês de dezembro acompanha a queda da radiação e da fotossíntese. Em contrapartida, em janeiro, a redução da eficiência no período da tarde se deu devido à elevação da radiação, enquanto a fotossíntese se manteve significativamente igual ao período da manhã.

Donato et al. (2023) observou valores mais altos para A/Q_{leaf} no período da manhã, quando as condições ambientais favorecem a atividade metabólica. Entretanto, valores relativamente baixos de eficiência quântica e sua redução à tarde indicam que o umbuzeiro prioriza a conservação de água em detrimento da taxa máxima de fotossíntese quando submetido a condições menos favoráveis.

4.1.8. Eficiência de carboxilação (A/C_i)

A eficiência de carboxilação está diretamente relacionada com a fotossíntese líquida, pois representa quanto de CO_2 , assimilado pela folha, foi convertido em carboidratos, em função da concentração interna de CO_2 .

Avaliar a eficiência de carboxilação (A/C_i) em cultivares de umbuzeiro é essencial em pesquisas fisiológicas e de melhoramento, já que essa taxa revela o potencial bioquímico da planta em converter o gás assimilado sob condições ambientais específicas.

Nos meses de novembro e dezembro registrou-se os menores valores para a eficiência de carboxilação, indicando possível efeito do período, o que pode ter limitado a capacidade de carboxilação. Isso foi observado principalmente em dezembro, quando se somou à redução da radiação, que registrou $0,0060 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$ às 14h, correspondendo a menor média. Diferentemente, em novembro e janeiro a eficiência foi significativamente superior que o mês de dezembro.

Em novembro e dezembro, houve redução da eficiência às 14h em relação às 8h, evidenciando que o estresse gerado pelas piores das condições ambientais ao longo do dia pode ter comprometido a carboxilação, como observado por Donato *et al.* (2023). Em janeiro, não houve diferença significativa entre manhã e tarde, mostrando que em determinadas condições as plantas conseguiram manter a eficiência fotossintética mesmo sob maior radiação, temperatura mais elevada, menor umidade relativa do ar e maior DPV.

Os valores superiores em janeiro podem estar relacionados à redução do estresse hídrico, com o avanço do período chuvoso e consequente aumento da disponibilidade hídrica acumulada, refletindo em melhor desempenho fotossintético. Através disso, é possível sugerir que o cultivar estudado possui mecanismos de ajuste estomático e bioquímico que permitem maior estabilidade da eficiência de carboxilação mesmo em temperaturas mais altas, mas em condições hídricas menos restritivas.

Dessa maneira, a eficiência de carboxilação relaciona-se diretamente com outras variáveis avaliadas, como a taxa de fotossíntese, concentração interna de CO_2 e a condutância estomática, que apresentaram variações ao longo do período avaliado e repercutiram em A/C_i .

Observou-se que nos momentos em que G_s apresentou valores intermediários a altos, houve um favorecimento da assimilação de CO_2 , o que se traduziu em taxas fotossintéticas elevadas, principalmente em 07/01/25 às 8h, correspondendo a uma eficiência de carboxilação máxima para o período, chegando a $0,0505 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}/\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$.

Quando se analisa essas relações no período da tarde, apesar dos valores de g_s serem semelhantes aos das 8h na maioria dos dias, a taxa de fotossíntese diminuiu significativamente, especialmente em dezembro, resultando em queda acentuada da eficiência de carboxilação. Em contraste, em janeiro, tanto A quanto g_s se mantiveram relativamente altos à tarde, mantendo A/C_i elevada, indicando que, sob condições de radiação e hídricas mais favoráveis, a menor limitação estomática foi o principal fator a modular a eficiência fotossintética.

De forma geral, esses resultados demonstram que a cultivar BRS-68 é capaz de alternar a condutância estomática conforme a época e as condições ambientais, evidenciando a dependência que a A e a C_i apresentam em relação à g_s e aos fatores climáticos da região.

4.1.9. Eficiência instantânea de uso da água (A/E)

A eficiência instantânea do uso da água é definida como a razão entre a taxa de assimilação líquida de carbono e a taxa de transpiração de uma planta. Esse índice expressa a quantidade de carbono fixado pela fotossíntese para cada unidade de água perdida por transpiração, refletindo o balanço imediato entre ganho de carbono e custo hídrico (TAIZ *et al.*, 2017).

Observou-se que a eficiência de uso da água variou entre as diferentes épocas do ano e horários de medição. Todas as medições às 8h não apresentaram diferença estatística significativa entre as datas nesse horário. Já às 14h as médias registraram variação entre as datas analisadas.

Nos horários da manhã, os valores de A/E foram maiores do que à tarde em todas as datas, especialmente em 25/11/25, quando o cultivar atingiu $7,30 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}/\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2}\text{s}^{-1}$. A ausência de variação pela manhã pode estar associada a melhores condições microclimáticas durante a manhã, que favorecem a abertura estomática e reduzem a perda de água por transpiração, como foi observado para algumas datas, otimizando o uso da água pela planta.

No período da tarde, além de apresentar variação entre as datas, a eficiência caiu significativamente em todos os dias avaliados, principalmente em dezembro, momento em que a redução foi maior, sendo provavelmente intensificada devido aos menores valores de fotossíntese e transpiração.

A redução da eficiência do uso de água pela planta à tarde, no geral, está associada as altas temperaturas, a baixa umidade relativa do ar e o maior DPV, conforme observado nos dados meteorológicos para todas as tardes. Donato *et al.* (2023) também registrou essa redução entre os horários e a atrelou as mesmas condições externas do período da tarde, que influenciam na fotossíntese e na transpiração (Arantes *et al.*, 2016).

Esse padrão de redução reflete o efeito combinado principalmente da temperatura e disponibilidade de água nas folhas sobre a fotossíntese e transpiração. À medida que a temperatura aumenta, ocorre maior perda de água por transpiração, enquanto a assimilação

de CO₂ ou a taxa de fotossíntese pode não acompanhar na mesma proporção, reduzindo A/E . Essa relação mostra que a eficiência de uso da água é mais alta em condições de menor estresse térmico e hídrico, revelando que o efeito ambiental exerce um papel dominante sobre a eficiência.

4.1.10. Eficiência intrínseca do uso da água (A/g_s)

A eficiência intrínseca do uso da água é um parâmetro fisiológico que expressa a relação entre a taxa de assimilação líquida de carbono e a condutância estomática ao vapor de água. Assim, mede o quão eficiente a planta é em fixar carbono para cada unidade de condutância estomática, ou seja, quanto ela consegue aproveitar da abertura estomática para fotossintetizar sem perder tanta água (Taiz *et al.*, 2017).

A eficiência intrínseca do uso da água variou ao longo das datas e horários. Em novembro e dezembro, observaram-se os menores valores de A/g_s , sobretudo em dezembro às 14h, quando apresentou 84,77 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, que correspondeu ao menor valor medido. Os valores mais altos se concentraram, em sua maioria, no mês de janeiro, especialmente em 28/01/25 às 8h, quando atingiu 192,05 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1} / \text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Em relação aos horários, novembro e dezembro registram valores mais altos às 8h e uma queda às 14h. Já em janeiro, as médias não variaram significativamente, apesar de seguirem a tendência de redução entre os horários. Ao considerar as condições ambientais ao longo do dia, Donato *et al.* (2023), que destaca que a planta é capaz de apresentar uma maior atividade metabólica no período da manhã, resultando em maiores valores de g_s e maiores taxas fotossintéticas e A/g_s , diferentemente do que tende a acontecer no período da tarde.

A redução em novembro advém da baixa resposta fotossintética à maior abertura estomática às 14h, provavelmente devido a maior suscetibilidade da planta às condições mais severas no período da tarde quando as condições hídricas ainda não eram tão favoráveis.

Quanto à redução em dezembro às 14h, isso pode estar relacionado à redução de radiação, quando a planta adotou um comportamento conservativo, restringindo seus estômatos, como mostram os resultados de g_s , priorizando economia de água em detrimento da máxima assimilação de carbono, registra baixa fotossíntese e condutância estomática.

Diferentemente, em janeiro observou-se aumento da eficiência intrínseca, coincidindo com o período de maior disponibilidade hídrica acumulada, o que favoreceu a abertura estomática suficientemente para manutenção de altas taxas de assimilação de CO₂ sem elevação proporcional da transpiração.

Dessa forma, ao analisar de forma conjunta os dados de A/g_s com os de A e g_s , evidencia-se que nas situações em que a taxa de fotossíntese foi elevada, com valores moderados de condutância estomática, resultaram em maiores valores de A/g_s , indicando maior eficiência fisiológica. Por outro lado, valores elevados de g_s sem o devido incremento em A refletiram em eficiências mais baixas. Isso mostra que o efeito do ambiente é crucial na eficiência intrínseca do uso da água, pois tanto a fotossíntese como a condutância estomática são muito sensíveis as alterações ambientais.

4.2. Índice de clorofila *a*, *b* e *total*

O Índice de clorofila *a*, *b* e *total* apresentou interação significativa para os dois fatores em estudo, épocas e horários, para todas as variáveis, conforme apresentado na tabela 5. Os resultados referentes à clorofila *a*, *b* e *total* estão expressos na tabela 6.

Tabela 5. Análise de variância com os respectivos quadrados médios da clorofila *a*, *b* e *total* em cultivar de umbuzeiro ‘BRS-68’ em Guanambi, BA.

ANOVA - Clorofila <i>a</i> , <i>b</i> e <i>total</i>				
FV	GL	QM		
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>total</i>
Data	3	98,60*	163,36*	321,41*
Hor	1	136,01*	23,52*	272,66*
Data x Hor	3	70,95*	199,24*	352,66*
Rep	7	39,13*	49,15*	154,87*

FV: fontes de variação; GL: grau de liberdade; * significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 6. Índice de Clorofila *a*, *b* e *total* avaliado em umbuzeiros ‘BRS-68’, às 8 e 14 horas em Guanambi, BA, 2024-2025.

Datas	Clorofila <i>a</i>		Clorofila <i>b</i>		Clorofila <i>total</i>	
			Horários			
	8h	14h	8h	14h	8h	14h
25/11/24	33,52 Aa	32,93 Aa	19,10 Ab	12,05 Aa	52,62 Aa	44,98 Aa
13/12/24	34,26 Aa	43,16 Bb	14,71 Aa	16,22 Aa	48,97 Aa	59,38 BCb
07/01/25	33,57 Aa	34,23 Aa	14,27 Aa	14,50 Aa	47,85 Aa	48,73 Aba
28/01/25	34,85 Aa	37,53 ABa	16,36 Aa	26,52 Bb	51,21 Aa	64,06 Cb
Média	35,51		16,71		52,22	
CV(%)	13,62		27,97		14,59	

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas, na coluna para as datas, e minúsculas, na linha para horários, não diferem significativamente.

O índice de clorofila *a* determinado nas folhas dos cultivares de umbuzeiro apresentou média de 35,51 e variou significativamente entre as datas e horários de avaliação, apresentando médias de 32,93 a 43,16, que corresponde ao maior valor, registrado em dezembro às 14h.

A variação desse pigmento manteve uma certa homogeneidade, assim como observado por Santos (2018) para o BRS-68 da mesma Coleção em Guanambi, em um estudo desenvolvido entre 2016 e 2017, quando registrou 23,63 e 31,93 nos meses de novembro e janeiro respectivamente.

Em dezembro, além de apresentar valores superiores em relação às outras datas, neste dia a clorofila *a* foi maior no período da tarde do que pela manhã, sendo a única data onde houve variação entre horários.

O índice de clorofila *b* se manteve relativamente estável nas datas avaliadas, com exceção do fim do mês de janeiro às 14h, que registrou 26,52, média mais elevada em relação aos demais dias e horários, inclusive quando comparado com o valor registrado pela manhã.

No geral, a clorofila *a* apresentou valores superiores aos registrados para clorofila *b*, que registrou menor variação entre datas que entre horários. No estudo de Santos (2018) o BRS-68 também registrou valores inferiores para esse pigmento quando comparado com a Clorofila *a*.

O aumento do índice de clorofila *b* no fim de janeiro coincidiu com os maiores valores de temperatura do ar, da radiação fotossinteticamente ativa (Q_{leaf}) e da temperatura foliar (T_{leaf}), para a mesma data e horário, período de maior disponibilidade de radiação solar e de temperaturas mais elevadas.

Entende-se que a maior proporção de clorofila *a* é o esperado, uma vez que esse é o principal pigmento que atua na conversão da energia luminosa em energia química para a fotossíntese. Já a clorofila *b* é um pigmento acessório que capta a luz solar e transfere a energia para a clorofila *a*, expandindo a faixa de luz para a planta (Taiz *et al.*, 2017).

A clorofila *total* se manteve estável às 8h durante todas as datas, apresentando variação entre as épocas de avaliação no período da tarde. Em relação aos horários, duas datas diferiram significativamente, em 13/12/24 e 28/01/25, que apresentaram inclusive, valores superiores aos demais.

A avaliação registrou uma média de 52,22, valor superior à média registrada por Lima Filho (2008), que foi em torno de 32,1, ao avaliar o índice de clorofila na parte superior do dossel do umbuzeiro.

Os valores mais elevados à tarde podem estar relacionados há uma possível tendência de aumento do teor de clorofila *total* no período da tarde. O acúmulo pode estar relacionado à exposição à luz ao longo do dia, que estimula a síntese de clorofila estimulando a sua produção até o período da tarde, resultando em um acúmulo maior do pigmento (Taiz *et al.*, 2017).

Mesquita, Dantas e Cairo (2018) destacam que não há um padrão definido quanto ao comportamento fisiológico das plantas da Caatinga no que se refere ao teor de clorofila, podendo variar devido a diversos fatores, espécie, idade, porte, fenologia, sazonalidade, etc. Os autores destacam que esse último fator tem um papel importante, pois influência na síntese de clorofila e, conseqüentemente, no rendimento fotossintético.

4.3. Índice de Área Foliar

Quanto ao Índice de área foliar, todas as variáveis apresentaram interação significativa para os dois fatores em estudo, épocas e horários, conforme apresentado na tabela 7. Os resultados obtidos para a Radiação fotossinteticamente ativa acima da copa (PARa), Radiação fotossinteticamente ativa abaixo da copa (PARb), coeficiente de transmitância da radiação (τ), Índice de Área Foliar (IAF) e fração de radiação FB estão expressos na tabela 8.

Tabela 7. Análise de variância com os respectivos quadrados médios da Radiação fotossinteticamente ativa acima da copa (PARa) e Radiação fotossinteticamente ativa abaixo da copa (PARb), coeficiente de transmitância da radiação (τ), Índice de Área Foliar (IAF) e fração de radiação (FB) em cultivar de umbuzeiro ‘BRS-68’ em Guanambi, BA.

FV	GL	ANOVA - Índice de Área Foliar				
		PARa	PARb	τ	IAF	FB
Época	3	664113,17*	4593,44*	0,00*	0,93*	0,16*
Repetição	3	48499,67*	1847,44*	0,00*	2,01*	0,35*
Erro	9	99760,19*	937,88*	0,00*	0,26*	0,03*

FV: fontes de variação; GL: grau de liberdade; * significativo a 5% pelo teste F.

Tabela 8. Radiação fotossinteticamente ativa acima da copa (PARa) e Radiação fotossinteticamente ativa abaixo da copa (PARb) ($\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$), coeficiente de transmitância da radiação (τ) (adimensional), Índice de Área Foliar (IAF) ($\text{m}^2 \text{m}^{-2}$) e fração de radiação FB (adimensional) avaliados em umbuzeiro ‘BRS-68’, às 8 e 14 horas, em Guanambi, BA, 2024-2025.

Datas	PARa	PARb	T	IAF	FB
	$\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$		Adimensional	$\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$	Adimensional
25/11/24	1264 B	83,67 AB	0,067 A	4,56 A	0,455 AB
13/12/24	411 A	28,10 A	0,069 A	3,47 A	0,072 A
07/01/25	1270 B	108,97 B	0,094 A	4,36 A	0,517 B
28/01/25	869 AB	68,17 AB	0,078 A	3,93 A	0,470 AB
Média	954.18	72,23	0,077	4,08	0,378
CV(%)	33.10	42,40	19,13	12,57	51,03

Médias seguidas por letras iguais maiúsculas não diferem significativamente.

A Radiação Fotossinteticamente Ativa (PAR), do inglês *Photosynthetically Active Radiation*, corresponde à fração do espectro solar compreendida entre 400 e 700 nm, que é utilizada pelas plantas no processo de fotossíntese. Essa faixa espectral representa a porção da luz incidente capaz de excitar moléculas de clorofila e outros pigmentos fotossintéticos, sendo, portanto, essencial para a conversão de energia luminosa em energia química (Taiz *et al.*, 2017).

A PAR está diretamente relacionada ao potencial de assimilação de carbono das plantas (Taiz *et al.*, 2017). Dessa forma, a quantificação da PAR incidente e transmitida pelo dossel é fundamental para estimar parâmetros fisiológicos e estruturais, como o índice de área foliar, e para compreender a eficiência do uso da radiação pelas plantas em diferentes condições ambientais (Novais *et al.*, 2018).

A radiação fotossinteticamente ativa medida acima da copa (PARa) representa a intensidade da luz disponível para a planta antes da interceptação pelo dossel. A análise desenvolvida mostrou que a PARa apresentou variação significativa ao longo das datas avaliadas, com valores entre 411 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em dezembro de 2024, e 1270 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em 07/01/25, resultando em uma média de 954,18 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

Os menores valores observados em dezembro refletem a menor disponibilidade de radiação solar, possivelmente associada a maior nebulosidade, enquanto os maiores valores em janeiro coincidem com condições de céu mais aberto e maior predominância de radiação direta. Dessa forma, esses resultados confirmam a influência das variações meteorológicas sobre a disponibilidade de luz para o dossel, que é um fator crítico para a assimilação de carbono.

A radiação fotossinteticamente ativa medida abaixo da copa (PARb) indica a quantidade de luz que atravessa a copa, chegando às folhas inferiores e solo. A PARb também oscilou de forma expressiva entre as datas, variando de 28,10 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em 13/12/24, a 108,97 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, em 07/01/25, com média de 72,23 $\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$.

s⁻¹. Essa variação reflete diretamente as diferenças na disponibilidade de radiação incidente entre as folhas superiores e inferiores, mas também evidencia a capacidade de interceptação do dossel do umbuzeiro.

Na data com maior radiação solar, como em 07/01, parte da radiação ainda foi capaz de atravessar a copa, o que pode estar relacionado à estrutura espacial das folhas e à presença de aberturas no dossel, permitindo maior penetração da luz. A arquitetura foliar é determinante na distribuição da luz no interior da copa, influenciando a eficiência fotossintética de folhas em diferentes estratos (Nobel; Forseth; Long, 1993; Silva, 2017).

Ao contrastar as datas e relacioná-las com os parâmetros fisiológicos medidos, observa-se que, em dezembro, a menor disponibilidade de radiação, observada com os valores de Q_{leaf} , resultou em valores mais baixos de PARa e PARb, limitou a fotossíntese e ocasionou reduções em A e E , e o aumento de C_i . Já em janeiro, os valores mais elevados de PARa e PARb relacionam-se com a maior disponibilidade de radiação direta, quando se registrou maior Q_{leaf} e incrementos em A e E , com C_i mais baixo, indicando maior assimilação de CO₂ e eficiência fotossintética superior.

O coeficiente de transmitância (τ) corresponde a fração de radiação que atravessa a copa, obtida através da relação PARb/PARa e permite inferir a eficiência da interceptação luminosa. A transmitância da radiação (τ) apresentou valores consistentemente baixos, variando de 0,067 a 0,094, com média de 0,077, o que revela que, em média, apenas cerca de 7,7% da radiação incidente atravessou o dossel.

Lima Filho (2008), ao estudar a distribuição da radiação fotossinteticamente ativa (PAR) em plantas adultas de umbuzeiro com densidade foliar de 2,0 m² m⁻³, observou que próximo ao meio dia, há uma atenuação de aproximadamente 80% da RAF na camada um metro abaixo do topo da copa. Já quanto a PAR que chega às folhas localizadas na camada mais inferior do dossel, o autor registrou apenas cerca de 4,4% da PAR.

Esses resultados reforçam a elevada capacidade de interceptação luminosa do umbuzeiro, pois valores baixos de transmitância são característicos de copas densas, com elevado grau de sobreposição foliar, e estão associados a maior eficiência na captação da radiação para a fotossíntese (Cunha; Volpe, 2010; Crestani *et al.*, 2023). Nesse sentido, a baixa transmitância observada demonstra a importância da estrutura foliar do cultivar estudado para maximizar o uso da radiação disponível em ambientes semiáridos.

Esses resultados se relacionam com o Índice de Área Foliar (IAF), que é definido como a razão entre a área total de folhas e a área de solo ocupado pela planta, sendo um

parâmetro essencial para descrever a estrutura do dossel e a sua capacidade de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (Taiz *et al.*, 2017).

A determinação do IAF constitui ferramenta indispensável em estudos fisiológicos e de manejo de plantas cultivadas e nativas, permitindo compreender a dinâmica da vegetação, a evapotranspiração das culturas, a determinação dos coeficientes de cultura e fundamental para a definição de métodos de cultivo e utilização de modelos agrícolas (Allen; Pereira, 2009; Chechi *et al.*, 2021; Paredes *et al.*, 2017).

O Índice de Área Foliar (IAF) apresentou variação entre 3,47 e 4,56 m² m⁻², porém sem diferenças significativas entre as datas de avaliação e com média de 4,08 m² m⁻². Em estudo realizado por Carvalho *et al.* (2016) sobre o IAF no Bioma Caatinga, os resultados mostram variação até 3,5 m² m⁻².

Em estudo realizado por Santos (2018) na mesma Coleção de Umbuzeiro em Guanambi, foi realizada a mensuração do IAF de diversos cultivares incluindo o BRS-68 (EPAMIG-01), na planta jovem, de 09/2016 a 06/2017, abrangendo o período avaliado neste estudo. Na época, o cultivar apresentou IAF estatisticamente igual no mês de novembro, variando de 0,82 a 0,81, e em janeiro registrou 1,48, quando variou significativamente. Quando se observa os resultados obtidos ao longo de todas as datas avaliadas para esse cultivar, observa-se que este também apresentou grande estabilidade, formando apenas dois grupos, mantendo valores iguais em 8 das 10 datas avaliadas, corroborando com a estabilidade observada atualmente.

Esse resultado indica que a densidade foliar do cultivar BRS-68 manteve-se estável ao longo do período experimental, sem grandes variações estruturais no dossel. Essa estabilidade pode ser observada também no estudo de Santos (2018), quando se considera a comparação entre as datas e os diferentes cultivares estudados, mostrando que o umbuzeiro tende a apresentar IAF estável.

A estabilidade do IAF entre as datas avaliadas sugere que as diferenças observadas na radiação transmitida não decorreram de mudanças estruturais na copa, mas sim de fatores externos, como a intensidade e a qualidade da radiação incidente.

A dimensão e estrutura do dossel é um fator central para o entendimento dos processos de interação entre planta-ambiente, sendo fortemente ligado à interceptação e dispersão de radiação solar (Nadkarni; Parker; Lowman, 2011). Dessa forma, o IAF relaciona-se com os processos de fotossíntese e transpiração, além de outros aspectos fisiológicos, pois afeta distribuição da luz entre os estratos foliares (Silva, 2017).

O IAF estável entre as datas reforça que a morfologia do dossel não foi o principal fator determinante das variações em A e E , mas sim com a base na radiação e na forma como a copa modulou a interceptação da luz em função das condições ambientais.

A fração de radiação direta/difusa (FB), representa a proporção da radiação solar que chega em forma de feixe direto em relação à radiação difusa, permitindo corrigir os cálculos do IAF, já que a penetração da luz no dossel depende da proporção da radiação direta e difusa.

A FB variou de forma mais ampla, entre 0,072, em 13/12/24, e 0,517, em 07/01/25, refletindo as condições atmosféricas predominantes em cada período. Valores mais baixos de FB indicam maior proporção de radiação difusa, geralmente associados a dias com maior cobertura de nuvens, como ocorreu em dezembro. Em contrapartida, valores mais elevados de FB, como os observados em janeiro, estão relacionados a maior incidência de radiação direta em condições de céu limpo (Marin; Assad; Pilau, 2008).

A variação observada é relevante, pois a proporção entre radiação direta e difusa influencia a penetração da luz no dossel e, consequentemente, a eficiência fotossintética, visto que a radiação difusa tem maior capacidade de alcançar folhas em estratos inferiores (Gu *et al.*, 2002). Assim, a oscilação de FB observada ao longo das datas evidencia a interação entre fatores climáticos e a distribuição da radiação dentro da copa do umbuzeiro.

Ao relacionar os dados, verifica-se que o dossel do umbuzeiro manteve transmitância baixa em todas as datas, evidenciando alta eficiência na interceptação de luz, não se caracterizando como um fator limitante. Ademais, as variações observadas em A e E não foram causadas por mudanças estruturais da copa, pois o IAF se manteve estável. Dessa forma, entende-se que a disponibilidade de radiação incidente exerceu maior influência fisiológica, como visto através dos valores de PAR_a, PAR_b e FB. Quando a radiação foi abundante e mais direta, como registrado em janeiro, a planta apresentou A e E elevada e menor C_i , mostrando ajuste eficiente ao ambiente. Em condições de menor radiação, como observado em dezembro, a assimilação foi limitada, resultando em A e E reduzida e acúmulo de CO₂ interno.

4.4. Caracterização estomática

Os estômatos são estruturas epidérmicas formadas por duas células-guarda que delimitam um poro estomático e têm como principal função regular as trocas gasosas entre

a planta e o ambiente, equilibrando a absorção de CO₂ para a fotossíntese e a perda de água por transpiração (Taiz et al., 2017).

Em espécies da Caatinga, como o umbuzeiro, a variação na densidade, no tamanho e na condutância dos estômatos corresponde a um dos mecanismos que mais influenciam na performance fisiológica do umbuzeiro no ambiente semiárido (Lima Filho, 2001; Silva, 2008; Costa, 2023). A importância do comportamento estomático para o controle hídrico do umbuzeiro foi evidenciada desde os estudos de Ferri e Laboriau (1952) e Ferri (1953).

As folhas dos umbuzeiros são compostas, com folíolos dísticos e elípticos e apresentam estômatos distribuídos na face abaxial, podendo haver raros estômatos isolados na superfície superior, se caracterizando como uma folha hipoestomática (Silva, 2008). A localização dos estômatos na face inferior da folha, reduz a exposição dos estômatos ao sol e ao vento, contribuindo para reduzir a perda de água por transpiração, adaptação fundamental para a sobrevivência do umbuzeiro no clima semiárido.

Ademais, segundo Silva *et al.* (2011), além da lâmina hipoestomática, as folhas do umbuzeiro apresentam epiderme uniestratificada, tricomas tectores simples, mesófilo dorsiventral, parênquima paliádico uniestratificado, parênquima lacunoso com 4-6 camadas celulares, idioblastos com cristais de oxalato de cálcio em forma de drusas. A estrutura foliar mostra caracteres anatômicos mesomórficos relacionados às condições ambientais em que a espécie vive.

A análise das lâminas correspondentes à epiderme da face abaxial da folha do umbuzeiro, revelou a presença de numerosos estômatos distribuídos de forma relativamente uniforme entre as células epidérmicas (Figura 8).

Figura 8. Vista da epiderme abaxial do umbuzeiro ‘BRS-68’ sob aumento de 10x.

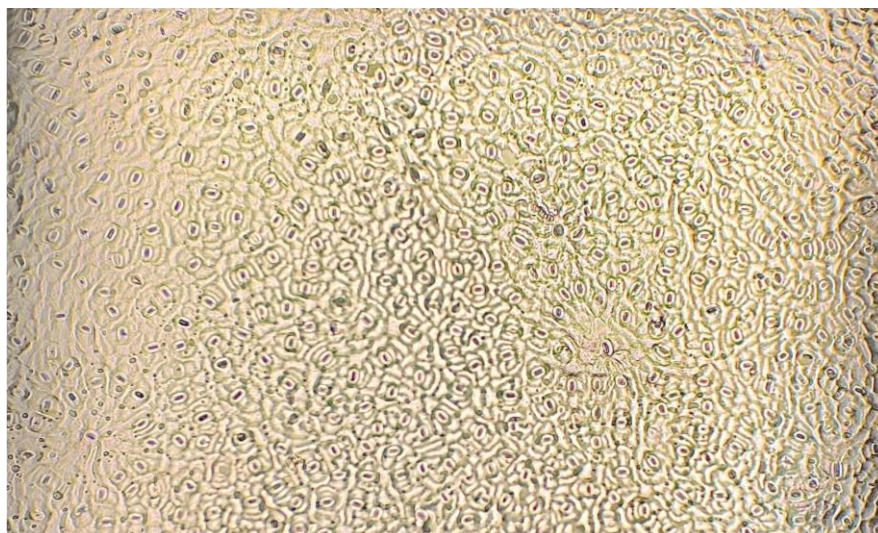


Foto: Renata Carvalho Santana, 2025.

No que se refere à forma, os estômatos do umbuzeiro são pequenos, formados por duas células-guarda reniformes que delimitam um óstio estomático central bem visível, sendo essa estrutura a responsável pelas trocas gasosas e pela regulação da transpiração foliar. Nos estudos de Ferri (1978), o autor sugeriu que os estômatos do umbuzeiro são pequenos e sem mecanismos de proteção, sendo capazes de se fecharem rapidamente quando a planta é submetida a estresse hídrico, mecanismo fundamental para a resistência dos umbuzeiros no ambiente semiárido.

Quanto a classificação, os estômatos dos umbuzeiros são anomocíticos e tetracíticos, corroborando com Silva et al. (2011) (Figura 9). O complexo estomático do tipo tetracítico é formado por quatro células subsidiárias ao redor das células-guarda, dispostas de modo característico, sendo duas paralelas ao eixo longitudinal do estômato e duas posicionadas nas extremidades. Já os estômatos com arranjo anomocítico, são os quais as células epidérmicas vizinhas não se diferenciam das demais células epidérmicas.

Figura 9. Vista dos estômatos e das células epidérmicas na epiderme abaxial do umbuzeiro ‘BRS-68’ sob aumento de 40x .



Fonte: Renata Carvalho Santana, 2025.

Quanto a densidade estomática, os resultados reafirmam a alta densidade de estruturas estomáticas na espécie, conforme expresso na Tabela 3 e apresentado na Figura 10.

Tabela 9. Densidade estomática média do umbuzeiro ‘BRS-68’ obtida em duas lâminas para cada data e horário, em quatro diferentes datas, às 8 e 14 horas, em Guanambi, BA, 2024-2025.

.Datas	Densidade Estomática	
	8h	14h
25/11/24	559	630
13/12/24	529	679
07/01/25	601	569
28/01/25	567	646
Média total	598	

Figura 10. Epiderme foliar do ‘BRS-68’ sob aumento de 10x, obtida em quatro diferentes datas (1, 2, 3 e 4), às 8 (A) e 14 horas (B) em Guanambi, BA, 2024-2025.

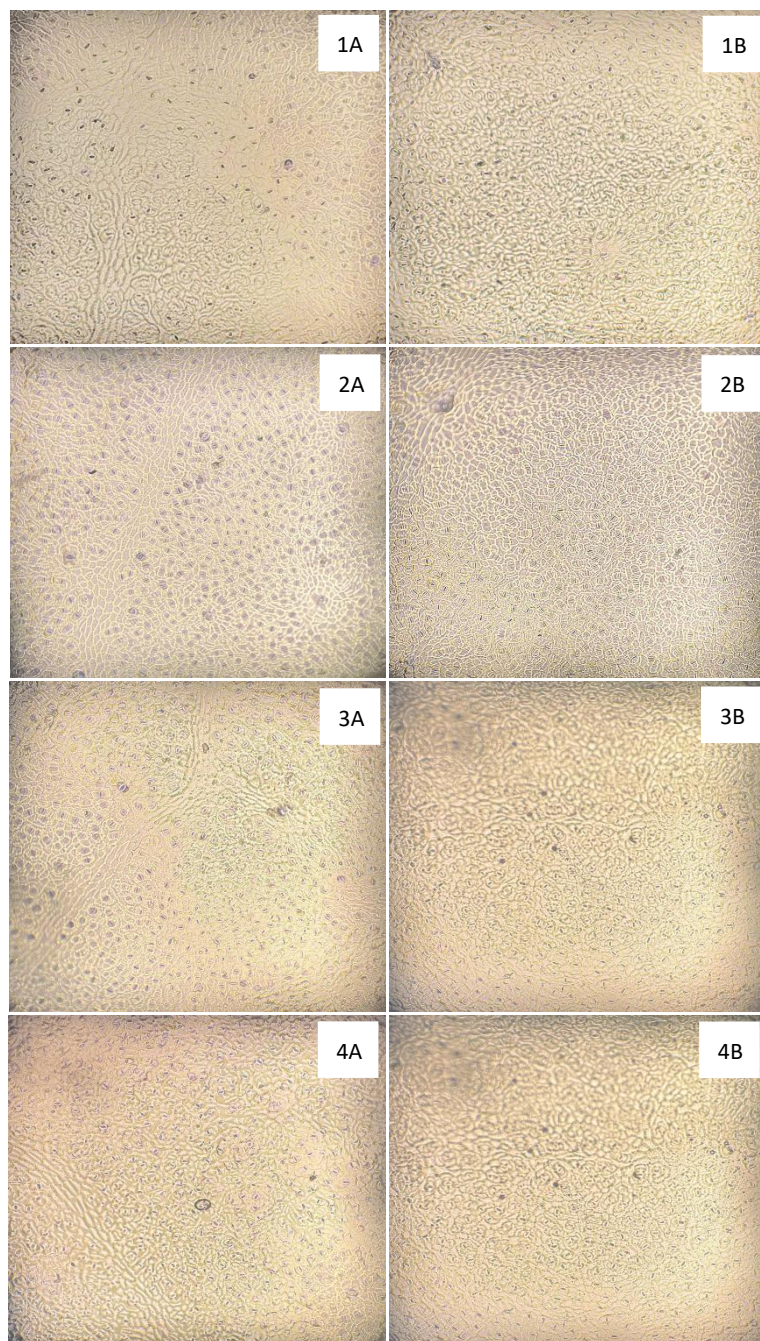


Foto: Renata Carvalho Santana, 2025.

A médias registradas variaram de 529 a 679 estômatos por mm^2 , sendo superiores às registradas por Silva (2008), que variaram de 300 a 497,5 estômatos por mm^2 em quatro genótipos, incluindo o BRS-68 que registrou 385 mm^{-2} estômatos.

Quanto a condutância, a análise das lâminas produzidas concomitantemente às mensurações das trocas gasosas permitiram a visualização e a produção de registros dos estômatos e da sua condutância (Figura 11), de forma que foi possível relacionar às taxas fisiológicas. Esse tipo de caracterização é inovadora e permite registrar o comportamento

dos estômatos associado as taxas fisiológicas mensuradas sob influência de diferentes condições ambientais.

Figura 11. Epiderme foliar do ‘BRS-68’ sob aumento de 40x, obtida em quatro diferentes datas (1, 2, 3 e 4), às 8 (A) e 14 horas (B) em Guanambi, BA, 2024-2025.

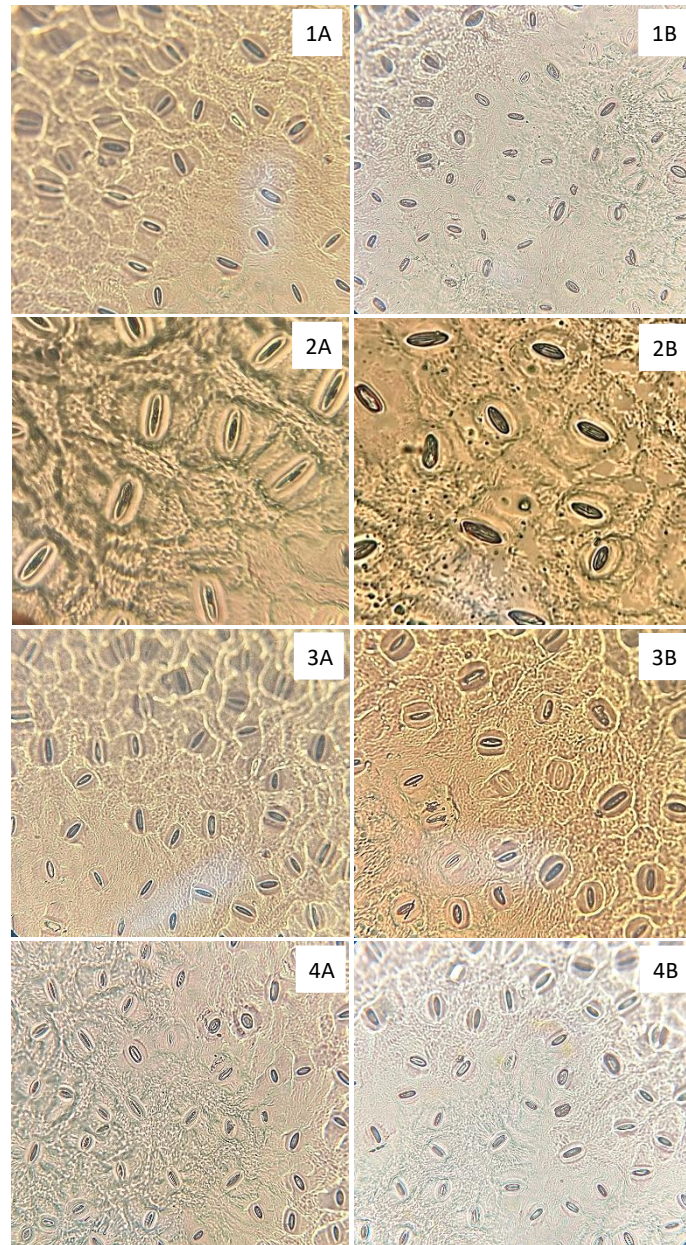


Foto: Renata Carvalho Santana, 2025.

Dessa forma, é perceptível a predominância de estômatos abertos, exceto no mês de dezembro, onde os estômatos estavam em sua maioria fechados ou semifechados, tanto no período da manhã como à tarde. Essas observações para o mês de dezembro condizem com

os resultados de g_s e Q_{leaf} , que mostram o fechamento estomático diante da limitação da radiação.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que o cultivar BRS-68 de umbuzeiro apresenta notável adaptabilidade fisiológica frente às variações ambientais do semiárido. A radiação fotossinteticamente ativa (Q_{leaf}) se mostrou determinante para a assimilação de carbono e atividade fotossintética, com valores mais baixos em dezembro devido à nebulosidade. A temperatura foliar (T_{leaf}) atingiu patamares críticos acima de 40 °C em janeiro, sem inviabilizar a fotossíntese, evidenciando a tolerância térmica da espécie. A condutância estomática (g_s) manteve-se relativamente estável entre manhã e tarde, demonstrando eficiente controle da abertura estomática para equilibrar assimilação de CO₂ e conservação de água.

A taxa de fotossíntese líquida (A) variou entre os períodos, sendo mais baixa em novembro e dezembro, especialmente à tarde, e mais elevada em janeiro, refletindo a influência positiva da maior disponibilidade hídrica. A transpiração (E) acompanhou a demanda atmosférica, alcançando valores mais altos nas tardes de janeiro, quando esteve associada a maior assimilação de carbono, indicando resposta compensatória do ajuste estomático. Já a concentração interna de CO₂ (C_i) foi elevada em novembro e dezembro, enquanto em janeiro apresentou valores reduzidos, coerentes com a maior eficiência fotossintética.

Quanto às eficiências, observou-se que a eficiência quântica da fotossíntese (A/Q_{leaf}) apresentou valores baixos e queda no período da tarde, reforçando a priorização da economia hídrica em detrimento da assimilação máxima de carbono. A eficiência de carboxilação (A/C_i) foi limitada nos meses de novembro e dezembro e elevada em janeiro, refletindo possível resposta às melhores condições hídricas. A eficiência instantânea (A/E) e intrínseca do uso da água (A/G_s) também variaram conforme a sazonalidade, sendo mais baixas em novembro e dezembro, mas mais bem ajustadas em janeiro, quando a maior abertura estomática foi acompanhada por ganhos significativos em assimilação de carbono.

Os resultados de clorofila a , b e $total$ evidenciam que os cultivares de umbuzeiro do cultivar BRS-68 apresentam dinâmica pigmentária modulada tanto pela sazonalidade quanto pelo horário do dia. A clorofila a destacou-se com valores mais elevados e variação

significativa entre as datas, atingindo o pico em dezembro às 14h, enquanto a clorofila *b* manteve-se mais estável, exceto no final de janeiro, quando se associou ao aumento da temperatura, da radiação incidente e da disponibilidade hídrica. A estabilidade da clorofila *total* nas manhãs e o aumento observado à tarde sugerem um acúmulo gradual de pigmentos ao longo do dia, possivelmente em resposta à maior exposição luminosa.

Os resultados de radiação e estrutura do dossel evidenciam que o umbuzeiro do cultivar BRS-68 apresentou elevada eficiência na interceptação luminosa e estabilidade estrutural ao longo do período avaliado. A PAR_a e a PAR_b variaram significativamente entre as datas, refletindo a influência da disponibilidade e da penetração da luz no dossel, com menores valores em dezembro, associados à maior nebulosidade, e máximos em janeiro, sob radiação direta mais intensa. O coeficiente de transmitância médio confirma a baixa passagem de luz pela copa, característica de dosséis densos e eficientes na captação de energia solar. O Índice de Área Foliar manteve-se estável, indicando que as variações fisiológicas observadas estiveram mais relacionadas à variação da radiação incidente do que à estrutura foliar. A fração de radiação direta/difusa também oscilou, mostrando que o regime de luz no dossel foi fortemente condicionado as condições externas.

A análise anatômica da epiderme foliar do umbuzeiro BRS-68 revelou alta densidade estomática, com 529 a 679 estômatos por mm^2 , distribuídos uniformemente na face abaxial. Os estômatos são pequenos, do tipo anomocítico e tetracítico, formados por células-guarda reniformes que controlam as trocas gasosas e a transpiração. A predominância de estômatos abertos na maioria das datas, exceto em dezembro, coincide com os resultados de condutância estomática (g_s) e radiação (Q_{leaf}), indicando fechamento em condições de menor luminosidade. Esses achados reforçam o papel da anatomia estomática na regulação fisiológica e na adaptação do umbuzeiro às condições do semiárido.

Assim, conclui-se que a cultivar BRS-68 possui mecanismos morfológicos e fisiológicos robustos que permitem manter o balanço entre fotossíntese e conservação de água, garantindo funcionamento mesmo sob estresse térmico e hídrico. Essa resiliência confirma o potencial produtivo do umbuzeiro no semiárido, reforçando sua importância para sistemas agrícolas sustentáveis e para a valorização dos frutos da Caatinga.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AINSWORTH, E. A.; ORT, D.R. How do we improve crop production in a warming world?. **Plant Physiology**, v. 154, p. 526-530, 2010. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20921178/>. Acesso em: 05 out. 2025.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. **Irrigation Science**, Berlin, v. 28, n. 01, p. 17-34, 2009. DOI: 10.1007/s00271-009-0182-z. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00271-009-0182-z>. Acesso em: 4 out. 25.

ANTALA, Michal; JUSZCZAK, Radoslaw; TOL, Christiaan van der; RASTOGI, Anshu. Impact of climate change-induced alterations in peatland vegetation phenology and composition on carbon balance. **Science of the Total Environment**, [s. l.], v. 827, p. 2-11, Febr. 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722013869>. Acesso em: 03 out. 2025.

ANTUNES, Werner Camargos; MENDES, Keila Rêgo; CHAVES, Agnaldo Rodrigues de Melo; OMETTO, Jean Pierre; JARMA-OROZCO, Alfredo; POMPELLI, Marcelo Francisco. *Spondias tuberosa* trees grown in tropical, wet environments are more susceptible to drought than those grown in arid environments. **Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas**, Bogotá, Colombia, v. 10, n. 1, p. 9-27, jan./jun. 2016. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1048487/1/Agnaldo2016.pdf>. Acesso em: 26 jun. 2024.

ARANTES, Alessandro de Magalhães. **Trocas gasosas e predição do estado nutricional de bananeiras tipo prata em ambiente semiárido**. 2014. 153f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2014. Disponível em: <https://bibliotecasemiarios.ufv.br/bitstream/123456789/2755/1/texto%20completo.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2024.

ARANTES, Alessandro de Magalhães *et al.* 2016. Gas exchange in different varieties of banana prata in semi-arid environment. **Revista Brasileira de Fruticultura** 38: e-600. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/0100-29452016600>. Acesso em: 20 set. 2025.

ARAÚJO, Francisco Pinheiro de.; CASTRO NETO, Manoel Teixeira de. Influência de fatores fisiológicos de plantas matrizes e de épocas do ano no pegamento de diferentes métodos de enxertia do umbuzeiro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 752-755, dez. 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/LpmdPCvcg6M5868fwhyC3pG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 jun. 2024.

BATISTA, Fabiane Rabelo da Costa *et al.* Análise biométrica de frutos de umbuzeiro do semiárido Brasileiro. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 31, n. 3, p. 682-690, maio/jun. 2015. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/276425218_Analise_biometrica_de_frutos_de_umbuzeiro_do_semiarido_brasileiro. Acesso em: 21 jun. 2024.

CARVALHO, Thayslan Renato Anchieta de. **Índice de área foliar em caatinga preservada: avaliação in-situ e através da resposta espectral da vegetação**. 2016. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/31725>. Acesso em: 4 out. 2025.

CAVALCANTI, Nilton de Brito; RESENDE, Geraldo Milanez; DRUMOND, Marcos Antônio. Período de dormência de sementes de imbuzeiro. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 2, p. 135-139, abr./jun. 2006. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/149179/1/OPB725.pdf>. Acesso: 25 jul. 2025.

CEOLIN, Guilherme Bordignon. Impressão foliar com cola: uma importante técnica auxiliar nas aulas práticas de botânica. In: 57º Congresso Nacional de Botânica, 2006, Gramado. **Anais [...]**. Gramado: UFRGS, 2006. Disponível em: <https://dtihost.sfo2.digitaloceanspaces.com/sbotanicab/57CNBot/142.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2024.

CHECHI, Leonardo; PETRY, Mirta Teresinha; OLIVEIRA, Zanandra Boff de; DANTAS, Max Kleber Laurentino; SILVA, Clarissa Moraes da; GONÇALVES, Andressa Fuzer. Estimativa do índice de área foliar e da fração de cobertura do solo nas culturas de milho e soja usando NDVI. **Irriga**, Botucatu, v. 26, n. 3, p. 620-637, jul./set. 2021. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4445>. Acesso em: 4 out. 2025.

COSTA, Raimundo Nonato Moraes. **Variação Sazonal de Parâmetros Ecofisiológicos em Matrizes de Umbuzeiro**. 2023. 64 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2023. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/29675/1/RaimundoNonatoMoraesCosta_Tese.pdf. Acesso em: 2 jun. 2025.

CRESTANI, Marcelo; CANDIDO, Luiz Antonio; CUADRA, Santiago Vianna; TOMÉ, Adriano Maito; LOPES, Andressa Back de Andrade; DE LIMA, Francinei Lopes; REIS, Juliana; Brizolla, Rafael Morbeque. Validação do IAF estimado a partir do coeficiente de extinção da radiação PAR. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 22, 2023, Natal. **Anais eletrônicos [...]**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1161005/validacao-do-iaf-estimado-a-partir-do-coeficiente-de-extincao-da-radiacao-par>. Acesso em: 3 out. 2025.

CUNHA, Euclides da. **Os Sertões**. 3. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

CUNHA, Antônio Ribeiro da; VOLPE, Clovis Alberto. Relações radiométricas no terço superior da copa de cafeeiro. **Bragantia**, Campinas, v. 69, n. 2, p. 263-271, nov. 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/brag/a/gdZ4CMDQxMvhf888D9J5FFk/?format=html&lang=pt>. Acesso em: 4 out 2025.

DONATO, Sérgio Luiz Rodrigues *et al.* Aspectos ecofisiológicos, morfológicos, fenológicos e de produção do umbuzeiro e da umbucajazeira. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 40, n. 307, p. 22-38, dez. 2019a.

DONATO, Sérgio Luiz Rodrigues *et al.* Prospecção e avaliação de acessos de umbuzeiro. **Informe agropecuário**, Belo Horizonte, v. 40, n. 307, p. 22-38, dez. 2019b.

DONATO, Sérgio Luiz Rodrigues *et al.* Práticas de Cultivo de Umbuzeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 40, n. 307, p. 65-79, dez. 2019c.

DONATO, Sérgio Luiz Rodrigues *et al.* Photosynthetic response of umbu trees to vapor pressure deficit. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 57, maio 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/Y7TL99BJvgL4j6HS376ytDL/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 30 nov. 2023.

DONATO, Sérgio Luiz Rodrigues *et al.* Gas exchange in umbu tree accessions. **Comunicata Scientiae**, 14, e4154. Disponível em: <https://comunicata.emnuvens.com.br/comunicata/article/view/4154>. Acesso em: 6 out. 2025.

FERREIRA, Daniel Furtado. Análises estatísticas por meio do Sisvar para windows versão 4.0. *In*: Reunião Anual da RBRAS, 45., 2000, São Carlos. **Resumos...** São Carlos: RBRAS/UFSCar, p. 255-258, jan. 2000. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/281570700_Analises_estatisticas_por_meio_do_Sisvar_para_Windows_versao_40. Acesso em: 30 jul. 2025.

FERRI, M. G. Walter Balance of Plantas From The "Caatinga". I. Transpiration of some of the most frequent species of Caatinga of Paulo Afonso (Bahia) in the searen. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 12, n. 3, p. 301-312, 1953a.

FERRI, M. G. Walter Balance of Plantas From The "Caatinga". II. Further Information on Transpiration and stomatal Behavior. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 13 n. 3 p. 237-244. 1953b.

FIGUEIRÊDO, et al. Taxa Fotossintética de Cupuaçuzeiros Cultivados ao Sol e à Sombra. *In*: Congresso Brasileiro de Fruticultura, 17., 2002, Belém, PA. Anais. Belém: SBF, 2002. 4 f. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/406279/1/Taxa.pdf>. Acesso em: 10 out. 2025.

GU, Lianhong; BALDOCCHI, Dennis; VERMA, Shashi B.; BLACK, T. A.; VESALA, Timo; FALGE, Eva M.; Dowty, Pete R. Advantages of diffuse radiation for terrestrial ecosystem productivity. **Journal of Geophysical Research**, [s. l.], v. 107, n. 6, Mar. 2002. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1029/2001JD001242>. Acesso em: 04 out. 2025.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/umbu/br>. Acesso: 1 ago 2025.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA, 2006.

LINS NETO, E.M.F. et al. Phenology of *Spondias tuberosa* Arruda (Anacardiaceae) under different landscape management regimes and a proposal for a rapid phenological diagnosis using local knowledge. **Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine**, v.9, p.10, Jan. 2013.

LIMA FILHO, José Moacir Pinheiro; SILVA, Célia Maria M. de S. Aspectos fisiológicos do umbuzeiro. Brasília, DF. **Pesq. Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 10, p. 1091-1094, out. 1988. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/aspectos-fisiologicos-do-umbuzeiro-3xqdwuejx0.pdf>. Acesso: 1 ago 2025.

LIMA FILHO, José Moacir Pinheiro. Ecofisiologia do umbuzeiro. In: LEDERMAN, E.; Lira JÚNIOR, J. S. de; SILVA JÚNIOR, F. da (Ed). **Spondias no Brasil: umbu, cajá e espécies afins**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco. 2008. p. 31-39. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/911418/4/SDC240.pdf>. Acesso em: 22 jul. 2025.

LIMA FILHO, José Moacir Pinheiro. Internal water relations of the umbu tree under semi-arid conditions. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, p. 518-521, dez. 2001. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/3bjk4yCf5Yscfdvm4YdvzJ/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 30 jul. 2025.

LIMA FILHO, José Moacir Pinheiro. Gas exchange of the umbu tree under semi-arid conditions. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 26, p. 206-208, ago. 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/gfYZgnZgnCjFMFHnzxGMtpq/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 30 jul. 2025.

LIMA FILHO, José Moacir Pinheiro. Ecofisiologia do umbuzeiro (*Spondias tuberosa*, Arr. Cam.). – Doc. n. 240, Petrolina: **Embrapa Semiárido**, Petrolina, p. 24, 2011. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/911418/4/SDC240.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2025.

LIMA FILHO, José Moacir Pinheiro; AIDAR, Saulo de Tarso. Ecofisiologia. In: DRUMOND, M. A.; AIDAR, S. de T.; NASCIMENTO, C. E. de S.; OLIVEIRA, V. R. de (Ed.). **Umbuzeiro: avanços e perspectivas**. 1. ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016. p. 117-145.

LIRA JÚNIOR, José. S. de; MUSSER, Rosimar dos S.; LEDERMAN, Ildo E.; MARTINS, Luíza. S. S. Variabilidade entre genótipos de um banco de germoplasma de cajá-umbuzeiro (*Spondias* spp.) na Zona da Mata de Pernambuco. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.3, n.2, p. 116-120, abr./jun.2008. Disponível em: <http://www.agraria.pro.br/ojs32/index.php/RBCA/article/view/v3i2a144>. Acesso em: 1 ago. 2025.

MARIN, Fábio Ricardo; ASSAD, Eduardo Delgado; PILAU, Felipe Gustavo. **Clima e Ambiente: Introdução à Climatologia para Ciências Ambientais**. 1. ed. Embrapa

Informática Agropecuária, Campinas, SP, 2008. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/31891/clima-e-ambiente-introducao-a-climatologia-para-ciencias-ambientais>. Acesso em: 1 out. 2025.

MATTA, Virgínia Martins da; TORREZAN, Renata; RIBEIRO, Leison Oliveira. Agregação de valor ao fruto do umbuzeiro. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 40, n. 307, p. 112-119, dez. 2019.

MERTENS, J. et al. Comparison of soil amendments for reforestation with a native multipurpose tree under semiarid climate: root and root tuber response of *Spondias tuberosa*. **Forest Ecology and Management**, v.396, p.1-10, July 2015.

MESQUITA, Alessandro Carlos; DANTAS, Bárbara França; CAIRO, Paulo Araquém Ramos. Ecophysiology of caatinga native species under semi-arid conditions. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 34, n. 6, p. 81–89, dez. 2018. DOI: 10.14393/BJ-v34n6a2018-39889. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1104815>. Acesso em: 2 nov. 2024.

NADKARNI, Nalini. M.; PARKER, Geoffrey. G.; LOWMAN, Margaret. D. Forest canopy studies as an emerging field of science. **Annals of Forest Science**, [s. l.], v. 68, p. 217-224, Apr. 2011. Disponível em: <https://annforsci.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13595-011-0046-6>. Acesso em: 4 out. 2025.

NOBEL, P.S.; FORSETH, I.N.; LONG, S.P. Canopy structure and light interception. **Springer Nature Link**. London: Chapman & Hall. 1993. p.79-90. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-011-1566-7_6. Acesso em: 29 set. 2025.

NOVAIS, Jonathan Willian Zangeski *et al.* Variação Espaço-Temporal da PAR Refletida pelo solo e transmitida pelo dossel em Floresta Inundável no Pantanal Mato-Grossense. **Ciências Florestais**, Santa Maria, 28, n. 4, out./dez. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/by98cDYbBzRmVH659NbYyhp/?lang=pt>. Acesso em: 3 out. 2025.

OLIVEIRA, V. R.; SANTOS, C. A. F. NASCIMENTO, C. E. S.; DRUMOND, M. A. RECURSOS GENÉTICOS. *In*: DRUMOND, M. A; AIDAR, S. T; NASCIMENTO, C. E. S; OLIVEIRA, V. R. (editores técnicos). **Umbuzeiro: avanços e perspectivas**. 1. ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2016.

PAREDES, Paula *et al.* Assessing yield, water productivity and farm economic returns of malt barley as influenced by the sowing dates and supplemental irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 179, n. 1, p. 132-143, jan. 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377416302013>. Acesso em: 29 set. 2025.

PINHEIRO, Charles Lobo *et al.* Seed Priming and Tolerance to Salt and Water Stress in Divergent Grain Sorghum Genotypes. **American Journal of Plant Sciences**, [s.l.], v.9, n.4, p. 305-311, March 2018. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/x9TgDDSDbXvXx55cNvRzWHG/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 2 de out. 2025.

RODRIGUES, Allana Mellyse Barbosa *et al.* Unveiling the structure of umbu tree dispersal units through x-ray imaging. **Research Square**, [s. l.], v.1, p. 1-10, jun. 2023. Disponível em: <https://assets.researchsquare.com/files/rs-3040517/v1/6f64224d-5314-448d-abfa-39f0853e71f0.pdf?c=1696864178>. Acesso em: 20 nov. 2023.

SANTOS, Carlos Antônio Fernandes; OLIVEIRA, Viseldo Ribeiro de. Inter-relações genéticas entre espécies do gênero *Spondias* com base em marcadores AFLP. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 731-735, set. 2008. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbf/a/Wj6MmZRRVgmj4cg7vy3K8xr/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 2 de out. 2025.

SANTOS, Érica Mendes dos *et al.* *Spondias* sp.: shedding light on its vast pharmaceutical potential. **Molecules**, [s. l.], v. 28, n. 4, fev. 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1420-3049/28/4/1862>. Acesso em 6 nov. 2024.

SANTOS, Luana Jéssica Souza. **Características fisiológicas e qualidade dos frutos de acessos de umbuzeiro e umbu-cajazeira da coleção do IFBaiano, Campus Guanambi – Ba.** 2018. 97 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Produção Vegetal no Semiárido) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano, Campus Guanambi, 2018. Disponível em: <https://www.ifbaiano.edu.br/unidades/guanambi/files/2019/04/Luana-J%C3%A9ssica-Souza-Santos.pdf>. Acesso em: 1 ago. 2025.

SANTOS, Wilma Roberta dos; SOUZA, Luciana Sandra Bastos de; PACHECO, Ayrton Nunes; JARDIM, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz; SILVA, Thieres George Freire da. Eficiência do uso da água para espécies da Caatinga: Uma revisão para o período de 2009-2019. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v.14, n.5, p. 2573-2591, set. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/249634/39326>. Acesso em: 2 fev. 2025.

SATURNINO, Heloisa Mattana; GONÇALVES, Nívio Poubel; CASTRICINI, Ariane; CARDOSO, Maurício Mendes; SOUZA, Ildeu de. Aspectos ecofisiológicos, morfológicos, fenológicos e de produção do umbuzeiro e da umbucajazeira. **Informe agropecuário**, v. 40, n. 307, p. 22-38, 2019.

SATURNINO, Heloisa Mattana; SOUZA, Ildeu de. Aspectos socioeconômicos do umbuzeiro. **Informe agropecuário**, v. 40, n. 307, p. 120-131, 2019.

SILVA, Pedro Carlos da Gama *et al.* Caracterização do Semiárido brasileiro: fatores naturais e humanos. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (Ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. 1 ed. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. p. 18-48.

SILVA, Igor Basilio. **Utilização de fotografias hemisféricas no estudo de luminosidade em ambiente florestal**. 2017. 63 f. Monografia (Bacharelado em Ciências Ambientais) – Instituto de Biociências, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.repositorio->

bc.unirio.br:8080/xmlui/bitstream/handle/unirio/13494/Igor%20Basilio%20Silva.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 4 out. 25.

SILVA, Elizamar Ciríaco da. **Respostas fisiológicas do umbuzeiro (*Spondias tuberosa* Arruda) aos estresses hídrico e salino.** (Doutorado em Botânica) - Universidade Federal Rural de Pernambuco. 2008. 142 f. Disponível em: <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/4795>. Acesso em: 10 out. 2025.

SILVA, et al. Morphology, anatomy and histochemistry of the leaves of *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae). **Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas**, vol. 10, núm. 1, enero, 2011, pp. 56-66. Universidad de Santiago de Chile, Santiago, Chile. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/26604336_Estudios_morfologicos_e_anatomicos_em_folhas_adultas_de_Spondias_tuberosa_Arruda_Anacardiaceae_Lindley#:~:text=par%C3%AAnquima%20pali%C3%A7%C3%A1dico%20uniestratificado%2C%20par%C3%AAnquima%20lacunoso%20com%204%2D6,condi%C3%A7%C3%B5es%20ambientais%20em%20que%20a%20esp%C3%A9cie%20vive. Acesso em: 1 out. 2025.

SOUZA, Adilson Pacheco de et al. Evolução Diurna e Estimativas da Radiação Difusa Horária Baseada na Radiação Global Horizontal, na Transição Cerrado-Amazônia, Brasil. **Atmosphere**, [s.l.], v. 14, n. 8, Aug. 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/2073-4433/14/8/1289?utm_source=chatgpt.com. Acesso em: 2 ago. 2025.

TAIZ, Lincoln; ZEIGER, Eduardo; MOLLER, Ian Max; MURPHY, Angus. **Fisiologia e Desenvolvimento Vegetal**. 6ª edição. Porto Alegre: Artmed, 2017.

VIDIGAL, Márcia; MIRIM, Valéria; CARVALHO, Naiara; MILAGRES, Patrícia Maria. Effect of a health claim on consumer acceptance of exotic Brazilian fruit juices: açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), camu-camu (*Myrciaria dubia*), cajá (*Spondia lutea* L.) and umbu (*Spondias tuberosa* Arruda). **Food Research International**, Great Britain, v. 44, n. 4, p. 1988-1996, Aug. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/232407405_Effect_of_a_health_claim_on_consumer_acceptance_of_exotic_Brazilian_fruit_juices_Acai_Euterpe_oleracea_Mart_Camu-camu_Myrciaria_dubia_Caja_Spondias_lutea_L_and_Umbu_Spondias_tuberosa_Arruda. Acesso em: 3 de out. 2025.

VALENTIM, Leticia Alves; PEIXOTO, José Adelson Lopes. As Corridas do Umbu na Aldeia Katokinn. **Revista de Estudos Indígenas de Alagoas-Campiô**, Palmeira dos Índios, v. 2, n. 1, p. 56-70, 2023. Disponível em: https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=pt-BR&user=7e9XgIcAAAAJ&citation_for_view=7e9XgIcAAAAJ:mVmsd5A6BfQC. Acesso em: 29 jun. 2024.

YAMASHITA, Fábio et al. Produtos de acerola: estudo da estabilidade de vitamina C. Campinas, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n.1, p. 92-94, jan./abr. 2003. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cta/a/SP47mqfDy4JyqjQ8DMVWPGk/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 set. 2025.