

TROCAS GASOSAS ENTRE GENÓTIPOS DE CAJUEIRO SOB DIFERENTES NÍVEIS DE ESTRESSE HÍDRICO

Karine Silva Pimente¹, Amanda Soraya Freitas Calvet², Marlos Alves Bezerra³

RESUMO: O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma cultura de grande importância socioeconômica para regiões tropicais e semiáridas, especialmente o Nordeste brasileiro. No entanto, sua produtividade é afetada por fatores ambientais, como escassez hídrica. Este estudo teve como objetivo avaliar o impacto do déficit hídrico em diferentes genótipos de cajueiro, com foco nas trocas gasosas - fotossíntese líquida (A), transpiração (E) e condutância estomática (gs). O experimento foi conduzido em ambiente protegido, sob condições controladas de umidade do solo (100%, 80%, 60% e 40% da capacidade máxima de retenção de água), utilizando seis genótipos do Banco Ativo de Germoplasma (BAG-Caju). As medições fisiológicas foram realizadas aos 15, 30 e 45 dias após o início dos tratamentos (DAT), com uso de analisador portátil de gás (IRGA). Os resultados mostraram que a redução da umidade no solo afetou significativamente todas as variáveis fisiológicas, com destaque para reduções nas taxas de fotossíntese e transpiração, sugerindo estresse hídrico. A condutância estomática também apresentou queda expressiva, principalmente nos tratamentos com 40% de umidade. Diferenças genotípicas foram observadas apenas aos 30 DAT na gs, com BGC 4 e BGC 509 sendo os mais sensíveis. Os genótipos com maior eficiência no uso da água são mais indicados para regiões sujeitas à seca, onde o monitoramento das trocas gasosas revela-se uma ferramenta eficaz para identificar materiais genéticos mais adaptados, contribuindo para programas de melhoramento e práticas sustentáveis na cajucultura, visando produtividade mesmo sob condições adversas de disponibilidade hídrica.

PALAVRAS-CHAVE: *Anacardium occidentale* L., fotossíntese, déficit hídrico.

¹ Mestre em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará (UFC), CEP: 60356-001, Fortaleza, Ceará. E-mail: karine3pimentel@gmail.com

² Doutora em Agronomia/Fitotecnia pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Bolsista Embrapa Agroindústria Tropical.

³ Doutor em Fisiologia Vegetal, Pesquisador, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, Ceará.

GAS EXCHANGE BETWEEN CASHEW GENOTYPES UNDER DIFFERENT WATER STRESS LEVELS

ABSTRACT: Cashew (*Anacardium occidentale* L.) is a crop of great socioeconomic importance for tropical and semiarid regions, especially the Brazilian Northeast. However, its productivity is affected by environmental factors, such as water scarcity. This study aimed to evaluate the impact of water deficit on different cashew genotypes, focusing on gas exchange - net photosynthesis (A), transpiration (E), and stomatal conductance (gs). The experiment was conducted in a protected environment, under controlled soil moisture conditions (100%, 80%, 60%, and 40% of water retention capacity), using six genotypes from the Active Germplasm Bank (BAG-Caju). Physiological measurements were performed at 15, 30, and 45 days after the start of treatments (DAT), using a portable gas analyzer (IRGA). The results showed that the reduction in soil moisture significantly affected all physiological variables, with emphasis on reductions in photosynthesis and transpiration rates, suggesting water stress. Stomatal conductance also showed a significant decrease, especially in treatments with 40% moisture. Genotypic differences were observed only at 30 DAT in gs, with BGC 4 and BGC 509 being the most sensitive. Genotypes with greater water use efficiency are more suitable for regions subject to drought, where monitoring gas exchange proves to be an effective tool for identifying more adapted genetic materials, contributing to breeding programs and sustainable practices in cashew farming, aiming at productivity even under adverse water availability conditions.

KEYWORDS: *Anacardium occidentale* L., photosynthesis, water deficit.

INTRODUÇÃO

O cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) é uma das principais culturas comerciais tropicais, destacando-se pela produção de frutos que são consumidos in natura e processados em diversos produtos, como sucos, amêndoas e óleos. Devido ao seu amplo uso à sua rusticidade, a cajucultura tem grande relevância socioeconômica, especialmente em regiões como o Nordeste brasileiro, onde ajuda a contribuir de forma significativa na geração de emprego e a projetar a economia local (Vidal, 2017).

Entretanto, a produtividade do cajueiro está sendo influenciada por fatores ambientais, como a disponibilidade de água, qualidade do solo e temperatura, que podem impactar fortemente o metabolismo da planta (Cavalcanti, 2022).

Entre os processos fisiológicos essenciais para o desenvolvimento das plantas, as trocas gasosas possuem papel relevante, em que as variáveis: fotossíntese, transpiração e respiração não só afetam a produtividade e o crescimento do vegetal, bem como sua capacidade de adaptação a divergentes condições ambientais, como o estresse hídrico.

A resposta das plantas a condições ambientais adversas está fortemente relacionada à sua base genética, de modo que diferentes genótipos podem apresentar distintas capacidades de adaptação frente a variações climáticas e estresses abióticos. Nesse contexto, a identificação de genótipos com maior tolerância ao estresse pode representar uma estratégia promissora para o melhoramento genético do cajueiro, especialmente diante dos impactos das mudanças climáticas globais, que tendem a intensificar eventos de seca e oscilações térmicas (Capelari, 2022).

Objetivou-se com o presente trabalho avaliar o efeito de condições controladas de déficit hídrico sobre os parâmetros de trocas gasosas em diferentes genótipos de cajueiro. A análise comparativa das taxas de fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática entre os genótipos permitirá a identificação de características fisiológicas associadas à tolerância ao estresse hídrico. Tais informações poderão subsidiar programas de desenvolvimento de cultivares mais adaptadas a condições ambientais extremas, promovendo a sustentabilidade e a produtividade da cajucultura em circunstâncias futuras.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em ambiente protegido, na Embrapa Agroindústria Tropical, em Fortaleza (3°45'S e 38°34'W), Ceará, Brasil. De acordo com a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima do tipo Aw' (clima tropical chuvoso), caracterizado como quente e subúmido (CLIMATE DATA, 2025). A temperatura média dentro do telado, durante a realização do experimento, foi de 30°C e a umidade relativa média foi de 70%.

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso (DBC), utilizando um esquema fatorial 6x4, onde o primeiro fator corresponde a seis genótipos de cajueiro e o segundo, quatro níveis de umidade do solo (100%, 80%, 60% e 40% da capacidade de retenção máxima de água no solo). Cada tratamento foi constituído por quatro repetições, com seis plantas por repetição.

O solo utilizado como substrato para cultivo das plantas foi classificado como Neossolo Quartzarênico, de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.

Para a produção das mudas, utilizou-se como porta-enxerto o clone CCP 06. Os enxertos corresponderam a seis acessos de *Anacardium occidentale* pertencentes ao Banco Ativo de Germoplasma do Cajueiro (BAG-Caju), sendo eles: CCP 76, BGC 4, BGC 98, BGC 283, BGC 484 e BGC 509.

O controle da umidade do substrato foi feito diariamente por meio da pesagem de plantas adicionais, com mesma idade e condições, utilizadas como referência, repondo-se a água evapotranspirada durante o período, de acordo com cada tratamento.

As medições de trocas gasosas foliares foram realizadas aos 15, 30 e 45 dias após o início da aplicação dos tratamentos (DAT). As variáveis fisiológicas avaliadas incluíram: taxa de fotossíntese líquida (A , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração (E , $\text{mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) e condutância estomática (g_s , $\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). Para a coleta dos dados, utilizou-se um analisador portátil de gás no infravermelho (IRGA), modelo LCi (ADC BioScientific Ltd., Inglaterra).

Todos os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o teste F. Para as variáveis qualitativas que apresentaram diferenças significativas, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). As variáveis quantitativas foram submetidas à construção de curvas de regressão e analisadas quanto à sua significância. Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o software SISVAR, versão 5.6.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A capacidade máxima de retenção de água no solo (CMRA) influenciou significativamente as variáveis de trocas gasosas, com exceção da taxa de transpiração foliar (E) aos 45 DAT. Por outro lado, os genótipos avaliados não apresentaram diferenças significativas ($p \leq 0,05$) nos indicadores fisiológicos ao longo do período experimental. Não foi observada interação significativa entre os fatores “genótipo” e “nível de CMRA” aos 15 e 45 DAT na condutância estomática (g_s). No entanto, aos 30 DAT, a variável (g_s) apresentou interação significativa entre esses dois fatores (Tabela 1).

Tabela 1. Análise de variância e valores médios para trocas gasosas dos diferentes genótipos de cajueiro em diferentes níveis de CMRA no solo

Fontes de variação	GL	Quadrados médios								
		15 DAT			30 DAT			45 DAT		
		A	E	gs	A	E	gs	A	E	gs
Blocos	3	6,12 ^{ns}	6,63 ^{**}	0,03 ^{ns}	87,38 ^{**}	0,74 ^{ns}	0,08 ^{**}	5,05 ^{ns}	5,45 ^{**}	0,00 ^{ns}
CMRA (U)	3	298,95 ^{**}	30,65 ^{**}	0,48 ^{**}	246,74 ^{**}	23,46 ^{**}	0,20 ^{**}	26,93 [*]	1,67 ^{ns}	0,01 [*]
Genótipo (G)	5	21,46 ^{ns}	0,72 ^{ns}	0,02 ^{ns}	10,24 ^{ns}	0,43 ^{ns}	0,00 ^{ns}	5,63 ^{ns}	0,46 ^{ns}	0,00 ^{ns}
U x G	15	8,57 ^{ns}	0,34 ^{ns}	0,01 ^{ns}	10,01 ^{ns}	1,21 ^{ns}	0,01 [*]	5,64 ^{ns}	0,40 ^{ns}	0,00 ^{ns}
Resíduo	69	10,24	0,68	0,01	10,80	0,96	0,00	7,93	0,70	0,00
Total	95	1858,10	167,63	2,88	1949,20	159,83	1,43	756,22	78,46	0,51
CV (%)	-	27,97	26,55	52,3	29,73	29,18	43,58	25,72	25,98	45,28

CMRA - Capacidade máxima de retenção de água no solo, A - Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), gs - condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e E - transpiração foliar ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). FV = fonte de variação; GL = grau de liberdade; CV = coeficiente de variação; ns não significativo; ** e * significativo a 1 e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

Em relação à taxa de fotossíntese líquida, observou-se redução progressiva à medida que a disponibilidade de água no solo foi diminuída. Nos tratamentos com 100% e 40% da CMRA, os valores médios foram 15,5 e 7,4 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aos 15 DAT, 14,7 e 7,3 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aos 30 DAT, e 11,8 e 10,1 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ aos 45 DAT, correspondendo a quedas de 52,1%, 50,1% e 14,3%, respectivamente (Figura 1A).

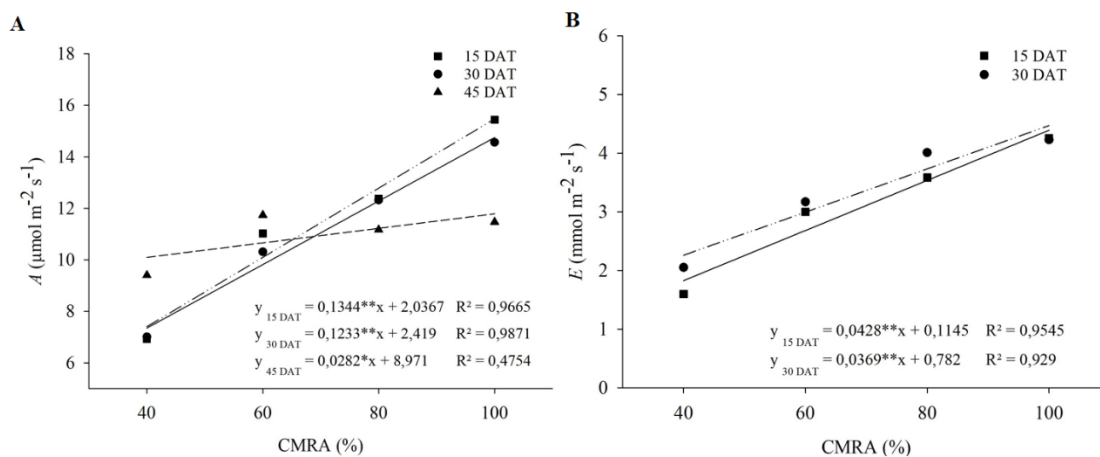
Diversos estudos relatados na literatura evidenciam que a taxa de fotossíntese em cajueiros-anões, tanto na fase de plântulas quanto em plantas adultas, tende a ser significativamente reduzida sob condições de déficit hídrico, quando comparadas ao cultivo irrigado. Bezerra et al. (2007) observaram queda expressiva na atividade fotossintética em plantas cultivadas em regime de sequeiro. Esses resultados corroboram os achados do presente estudo. De maneira semelhante, Lima (2014) verificou maiores taxas de fotossíntese no cultivo irrigado (14,22 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) em relação ao cultivo em sequeiro (12,95 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Já Nascimento (2010), ao comparar os clones CCP 76 e BRS 189, constatou médias anuais estatisticamente semelhantes entre os tratamentos hídricos, com valor médio de 14,97 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$, independentemente da lâmina de irrigação utilizada.

A taxa de transpiração apresentou comportamento semelhante, com tendência linear de redução conforme a diminuição da CMRA. Aos 15 DAT, os valores observados foram 4,39 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ no tratamento com 100% de água e 1,82 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ com 40% de água; aos 30 DAT, os valores foram 4,47 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e 2,26 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, indicando reduções de 58,4% e 49,5%, respectivamente (Figura 1B). Aos 45 DAT, a transpiração não seguiu um modelo de

regressão ajustável, sugerindo uma possível adaptação fisiológica das plantas às condições prolongadas de estresse, comportamento semelhante ao observado para a taxa fotossintética.

De acordo com Andrade et al. (2023), o manejo adequado da irrigação, especialmente durante estágios fenológicos críticos como a floração e a maturação dos frutos, pode contribuir significativamente para o aumento da produtividade e da qualidade dos frutos da manga ‘Kent’. No estudo, foram observadas taxas de transpiração variando entre 1,58 e 1,31 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, correspondentes a lâminas de irrigação de 82,5% e 83,6% da E_{Tc} , respectivamente. Esses resultados evidenciaram a influência das diferentes lâminas aplicadas sobre as trocas gasosas foliares, como fotossíntese, condutância estomática e transpiração. Além disso, os ciclos de produção também interferiram nessas variáveis, indicando uma interação relevante entre o regime hídrico e os estágios de desenvolvimento da cultura.

A condutância estomática (g_s) também foi reduzida com a restrição hídrica, seguindo o padrão das demais variáveis fisiológicas. Nos tratamentos de 100% e 40% da CMRA, os valores registrados foram 0,402 e 0,072 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (15 DAT); 0,280 e 0,064 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (30 DAT); e 0,193 e 0,127 $\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (45 DAT), o que representa reduções de 82,1%, 77,0% e 34,2%, respectivamente (Figura 1C). Aos 30 DAT, houve variação entre genótipos, sendo BGC 4 e BGC 509 os mais impactados pela limitação hídrica (Figura 1D).



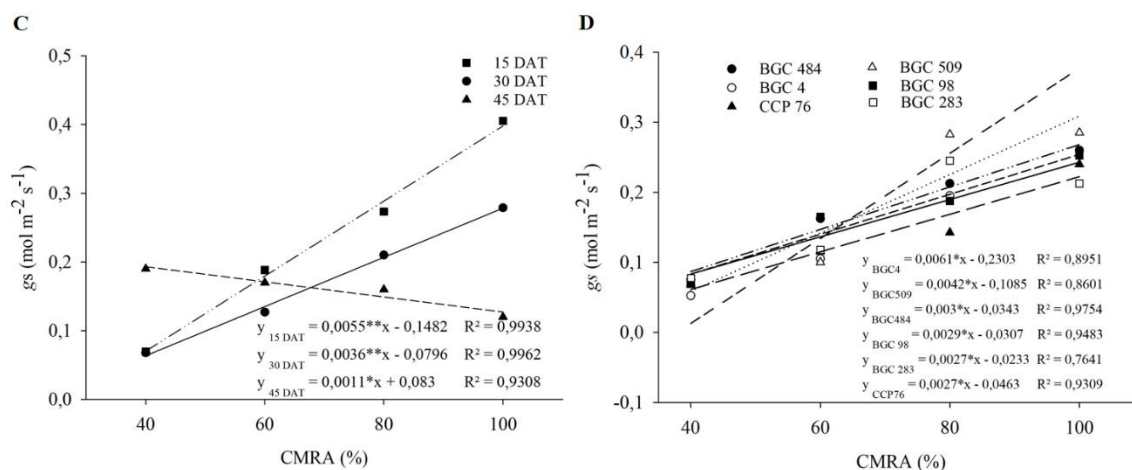


Figura 1. Fotossíntese líquida ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), (A), Transpiração foliar ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), (B) e Condutância estomática ($\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) (C e D) de plantas de cajueiro anão submetidas da diferentes regimes hídricos.

Em ambientes com ampla disponibilidade de água, as plantas tendem a manter valores mais elevados de condutância estomática, o que favorece o aumento da taxa de transpiração. Isso ocorre porque a abundância hídrica permite às plantas tolerar maiores perdas de água, sem comprometer o seu equilíbrio hídrico. Além disso, essa elevação na transpiração está diretamente relacionada a maiores taxas de fotossíntese, uma vez que a manutenção da abertura estomática facilita a difusão de CO₂ para o interior da folha, essencial para o processo fotossintético e o crescimento da planta (TAIZ, et al., 2015).

A existência de variação genética dentro de uma mesma espécie vegetal pode resultar em diferenças significativas na resposta da condutância estomática (g_s) frente à umidade do solo. Alguns genótipos apresentam maior sensibilidade, enquanto outros são capazes de ajustar de maneira mais eficiente sua condutância estomática em resposta à disponibilidade hídrica (Fanourakis et al., 2015).

Portanto, o uso de genótipos mais tolerantes à seca, associado a estratégias de manejo hídrico eficiente, é essencial para garantir a sustentabilidade da cajucultura em regiões semiáridas.

CONCLUSÕES

A disponibilidade hídrica no solo exerce influência direta sobre as variáveis fisiológicas do cajueiro, especialmente nas taxas de fotossíntese, transpiração e condutância estomática.

Houve pouca variação na resposta fisiológica entre os genótipos testados à restrição hídrica. Diferenças genotípicas foram evidenciadas somente na condutância estomática aos 30 dias de tratamento, com destaque para a maior sensibilidade dos acessos BGC 4 e BGC 509.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRADE, V. P. M. et al. Trocas gasosas e pós-colheita da mangueira ‘Kent’ submetida a déficit hídrico controlado no semiárido. **Rev. Caatinga**, Mossoró, v. 36, n. 1, p. 158–166, 2023.
- BEZERRA, M. A.; LACERDA, C. F.; G. FILHO, E.; ABREU, C. E. B. de; PRISCO, J. T. Physiology of cashew plants grown under adverse conditions. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 449-461, 2007.
- CAPELARI, E. F. **Prospecção de genes responsivos a estresse hídrico em uma espécie neotropical: cajueiro (*Anacardium occidentale*)**. 2022. 99f. Tese (Doutorado em Genética e Biologia Molecular) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2022.
- CAVALCANTI, M. L. C. et al. Crescimento do cajueiro anão precoce submetido à estresse hídrico em fases fenológicas. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**, v. 22, n. 02, 2022.
- CLIMATE-DATA. ORG. Dados climáticos para cidades mundiais. 2022. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/>. Acesso em: jun. 2025.
- LIMA, R. E. M. **Respostas fisiológicas e de produção em plantas de cajueiro anão precoce exploradas simultânea para goma, castanha e pedúnculos, sob diferentes níveis de irrigação e adubação**. 2014. 101f. Dissertação (mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2014.
- NASCIMENTO, A. H. C. **Aspectos fisiológicos e produtivos de clones de cajueiro anão precoce cultivado sob dois regimes hídricos**. Fortaleza. 2010. 97 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 2010.
- SILVA, F. G. D. et al. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 19, n. 10, p. 946–952, 2015.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Plant Physiology and Development**. 6th ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates, 2015.

VIDAL, M. F. A cajucultura nordestina continua em declínio. **Caderno Setorial ETENE**, v. 2, n. 22, p. 1–11, 2017.