

EFEITO ATENUADOR DO BIOCHAR NAS TROCAS GASOSAS E EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA NO MELÃO AMARELO SOB DÉFICIT HÍDRICO

Jamili Nobre Fiusa Pimentel¹, Francisco Fábio Lima Gomes², Rafaela da Silva Arruda³,
Amanda Soraya Moreira Freitas⁴, Marlos Alves Bezerra⁵, Alessandro Oliveira da Silva⁶

RESUMO: O melão (*Cucumis melo* L.) representa uma das principais hortaliças do agronegócio brasileiro e é cultivado em áreas do semiárido brasileiro. Assim, objetivou-se analisar o potencial do biochar da casca do coco verde como mitigador dos impactos do déficit hídrico nas trocas gasosas, na eficiência instantânea de carboxilação e no uso da água do melão amarelo híbrido 'Goldex'. O experimento foi conduzido em casa de vegetação na Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE, de abril a julho de 2024. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas. As parcelas foram constituídas por cinco estratégias de irrigação: IP – irrigação plena durante todo ciclo; DR - déficit regular durante todo ciclo; CV - déficit controlado no crescimento vegetativo; FL - déficit controlado no florescimento e MT - déficit controlado na maturação do fruto. As subparcelas foram constituídas pelas doses de biochar (0 e 30 kg ha⁻¹). Aos 34 e 49 dias após o transplântio foram analisadas as trocas gasosas (C_i , E , g_s , A) e a eficiência instantânea de carboxilação (EiC). A restrição hídrica durante todo o ciclo reduziu as trocas gasosas das plantas de meloeiro, especialmente nas plantas que não receberam o biochar. Por outro lado, o uso do biochar reduziu a abertura estomática das plantas bem hidratadas, sem prejuízo para a taxa fotossintética, aumentando a eficiência do uso da água dessas plantas.

PALAVRAS-CHAVE: Déficit regulado, Biocarvão, Fotossíntese.

ATTENUATING EFFECT OF BIOCHAR ON GAS EXCHANGE AND WATER USE EFFICIENCY IN YELLOW MELON UNDER WATER DEFICIT

¹ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Departamento de engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará – UFC, CEP: 60455-760, Fortaleza, Ceará – Fone: (85) 3366-9756. E-mail: jamilanobref@gmail.com;

² Mestrando em Engenharia Agrícola, Depart. de engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará – UFC;

³ Doutora, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, Ceará;

⁴ Doutora, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, Ceará;

⁵ Pesquisador, Doutor, Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, Ceará;

⁶ Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, UFC, Fortaleza, Ceará.

ABSTRACT: Melon (*Cucumis melo* L.) is one of the main vegetables in Brazilian agribusiness and is cultivated in areas of the Brazilian semi-arid region. Therefore, the objective of this study was to analyze the potential of green coconut husk biochar as a mitigator of the impacts of water deficit on gas exchange, instantaneous carboxylation efficiency, and water use of the hybrid yellow melon 'Goldex'. The experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Ceará, in Fortaleza, Ceará, from April to July 2024. The experimental design was a randomized complete block design in split plots. The plots were divided into five control strategies: IP - full supervision throughout the cycle; DR - regular deficit throughout the cycle; CV - controlled deficit in vegetative growth; FL - controlled deficit in flowering; and MT - controlled deficit in fruit maturation. The subplots consisted of biochar rates (0 and 30 kg ha⁻¹). At 34 and 49 days after transplanting, gas exchange (C_i , E , g_s , A) and instantaneous carboxylation efficiency (EiC) were verified. The water restriction throughout the growing season reduced gas exchange in melon plants, especially in those not receiving biochar. On the other hand, biochar use reduced stomatal opening in well-hydrated plants without compromising photosynthetic rates, increasing water-use efficiency in these plants.

KEYWORDS: Regulated deficit, Biocharcoal, Gas exchange.

INTRODUÇÃO

O melão (*Cucumis melo* L.) representa uma das principais hortaliças do agronegócio brasileiro, desempenhando papel econômico estratégico, especialmente na região Nordeste do país. Nos últimos dez anos, os estados do Rio Grande do Norte e do Ceará responderam por cerca de 80% das exportações nacionais dessa cultura (IBGE, 2021). A sua produção demanda volumes significativos de água e fertilizantes químicos, com destaque para os macronutrientes potássio (K), nitrogênio (N) e fósforo (P), cuja aplicação está associada a ampliação das pegadas hídrica e de carbono ao longo da cadeia produtiva (Santos et al., 2018). Nesse sentido, há necessidade de sistemas de produção mais sustentáveis e fontes alternativas de nutrientes (Leite et al., 2023). O biocarbão é um material sólido obtido pelo processo de pirólise, que quando adicionado ao solo, pode proporcionar a liberação de nutrientes existentes nesse material, a retenção de nutrientes no solo, e o aumento da fertilidade do solo (Kätterer et al., 2019; Lehmann; Joseph, 2015). Segundo Cavalcanti et al. (2015), o meloeiro é afetado ao aplicar lâminas de água que apresentam baixa disponibilidade hídrica ao solo. Com isso, o objetivo do

trabalho foi avaliar o potencial do biochar, aplicado como adubo, para mitigar os impactos do déficit hídrico nas trocas gasosas e eficiência instantânea de carboxilação do melão 'Goldex' cultivado sob déficit hídrico controlado.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no período de abril a julho de 2024, com melão amarelo em casa de vegetação pertencente a estação agrometeorológica da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brasil (3° 44' 45'' S; 38° 34' 55'' W). O clima da região é do tipo Aw', caracterizado como tropical chuvoso, muito quente, com chuvas predominantes nas estações do verão e outono, segundo a classificação de Köppen. O solo utilizado na condução da cultura, para o enchimento dos vasos com capacidade de 11 litros, foi oriundo do Campo Experimental da Embrapa no município de Pacajus – CE, na camada de 0-20 cm, classificado como solo de textura arenosa (Neossolo Quartzarênico). A caracterização química do solo (Tabela 1), foi feita segundo metodologia proposta pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Tabela 1. Caracterização química do solo proveniente da Fazenda Experimental de Pacajus-CE.

Características químicas ¹														
Prof	P	MO	pH	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	H+Al	Al ³⁺	SB	CTC	V	m	
Cm	mg/dm ³	g/kg	H ₂ Ommol _c /dm ³%.....						
0-20	8,8	3,9	5,6	0,5	10	6	1	12	0	17	29	57	0	

¹Profundidade (Prof); Matéria Orgânica (M.O); Capacidade de troca de cátions (CTC); Porcentagem de saturação por alumínio (m).

Fonte: Embrapa Laboratório de Solos.

A casca do coco verde utilizado nos tratamentos com biochar (30 kg ha⁻¹), foi doada pela empresa Agroindústria Paraipaba. Após o processo de pirolise, foi realizada a caracterização química de uma amostra (Tabela 2), segundo metodologia propostas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Tabela 2. Caracterização química do biocarvão da casca do coco verde.

Características químicas													
pH	C	N	P	K ⁺	Ca ⁺	Mg ²⁺	S-SO ²⁺	Na ⁺	Zn ⁺	Cu ⁺	Fe ²⁺	Mn ²⁺	
H ₂ Og kg ⁻¹mg kg ⁻¹					
9,2	661	16	3,4	42,7	8,9	5,7	1,0	6,3	470	22	2.593	57	

Fonte: Embrapa Laboratório de Solos.

Foram utilizadas sementes híbridas de melão 'Goldex' tipo amarelo (*Cucumis melo* L.), da marca Agristar. A semeadura foi realizada em bandejas de 162 células, sendo transplantadas para os vasos após 10 dias da data de semeadura, adicionando duas plantas por vaso e realizando o desbaste após cinco dias de transplântio. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, em parcelas subdivididas, sendo cinco estratégias de irrigação (parcelas) e a adubação com e sem biochar (subparcela), com quatro repetições. As parcelas foram constituídas por cinco estratégias de irrigação: IP – irrigação plena [100% da evapotranspiração da cultura (ETc)] durante todo ciclo; DR - irrigação com déficit regular controlado (60% da ETc) durante o crescimento vegetativo; FL - irrigação com déficit controlado (60% da ETc) durante o florescimento e formação dos frutos e MT - irrigação com déficit controlado (60% da ETc) durante a maturação do fruto (Figura 1). As subparcelas foram constituídas pela adubação de 100% da necessidade de K₂O na forma de KCl (Sem biochar) e biochar (Com biochar), totalizando 10 tratamentos e 40 parcelas experimentais, sendo constituída por uma planta por vaso. No período da floração plena foi realizada a polinização de forma manual, utilizando a proporção de 3 flores masculinas, para uma feminina. Cada bloco possuía dois vasos extras, com e sem biochar, adaptados como lisímetros de drenagem, visando a estimativa do consumo hídrico pelas plantas.

Com uso do volume médio drenado por vaso (Vd) e no volume colocado por vaso no dia anterior (Vc) foi possível ser calculado o volume de água utilizado pela planta (Vu), em litros por dia, equivalente à sua evapotranspiração (Equação 01):

$$Vu = Vc - Vd \quad (01)$$

Em que,

Vu - volume utilizado pela planta, ml;

Vc – volume adicionado por vaso no dia anterior, ml;

Vd - volume médio drenado por vaso, ml;

O volume repostado diariamente (Vr), foi o resultado da adição de 20% ao volume utilizado pelas plantas, para a obtenção diária de excedente, garantindo a drenagem nos microlisímetros.

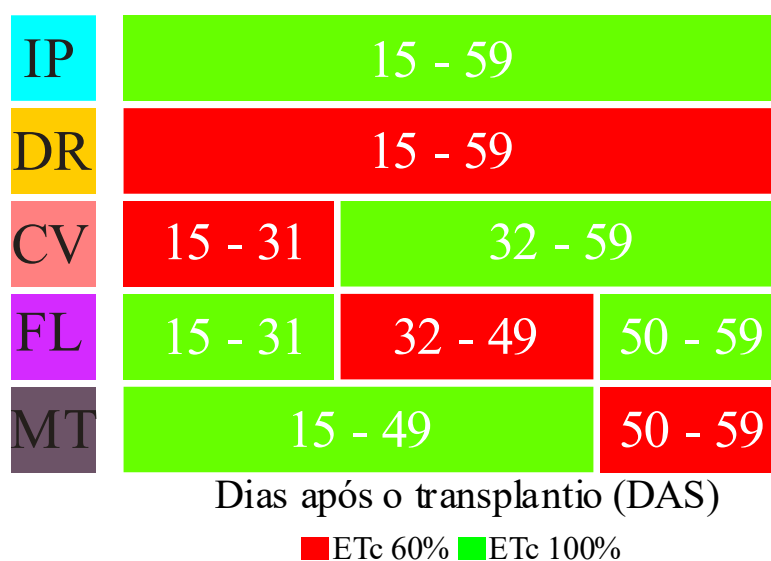


Figura 1. Esquema de aplicação dos tratamentos de estratégias de irrigação.

O método de irrigação utilizado foi por gotejamento, com fita gotejadora na vazão de 2,0 L h⁻¹, a uma pressão de serviço de 1 kgf cm⁻², a umidade do solo permaneceu próximo a capacidade de campo até os 15º dias após o plantio (DAT), quando começou a diferenciação dos déficits hídricos. Aos 34 (avaliação 1) e 49 (avaliação 2) DAT foram mensurados em folha completamente expandidas a concentração interna de CO₂ (*C_i*), transpiração (*E*), condutância estomática (*g_s*), fotossíntese líquida (*A*) utilizando-se analisador de gases no infravermelho portátil - IRGA (LCi, ADC, Hoddesdon, UK). A eficiência instantânea de carboxilação (*E_{iC}*) foi obtida pela relação entre *A/C_i*. Os dados foram submetidos à análise de variância pelo teste F ao nível de ($p < 0,05$) e, quando significativa, ao teste t (biochar) e ao teste de Tukey (estratégias de irrigação). As análises foram realizadas utilizando o programa SISVAR versão 5.7 (Ferreira, 2011) e os gráficos pelo Sigma Polt versão 12.5.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na primeira avaliação, aos 34 DAT, apenas a fotossíntese líquida (*A*) (teste F, $p < 0,05$) foi afetada e somente pelo fator isolado Estratégia de Irrigação (EI), com redução nas plantas estressadas durante todo o ciclo (Figura 2A). Para a segunda avaliação realizada aos 49 DAT, a estratégia de irrigação exerceu efeito significativo sobre todas as variáveis de trocas gasosas: fotossíntese líquida (*A*), concentração subestomática de CO₂ (*C_i*), condutância estomática (*g_s*), transpiração (*E*) e eficiência instantânea de carboxilação (*E_{iC}*) (Figuras 2B, 2C, 2D, 2E e 2F,

respectivamente), havendo interação entre EI x Biochar. Por outro lado, a condutância estomática (g_s), a transpiração (E) e a eficiência instantânea de carboxilação (EiC) foram influenciadas pela adubação com biochar (Figura 2D, 2E e 2F), com interação com a estratégia de irrigação.

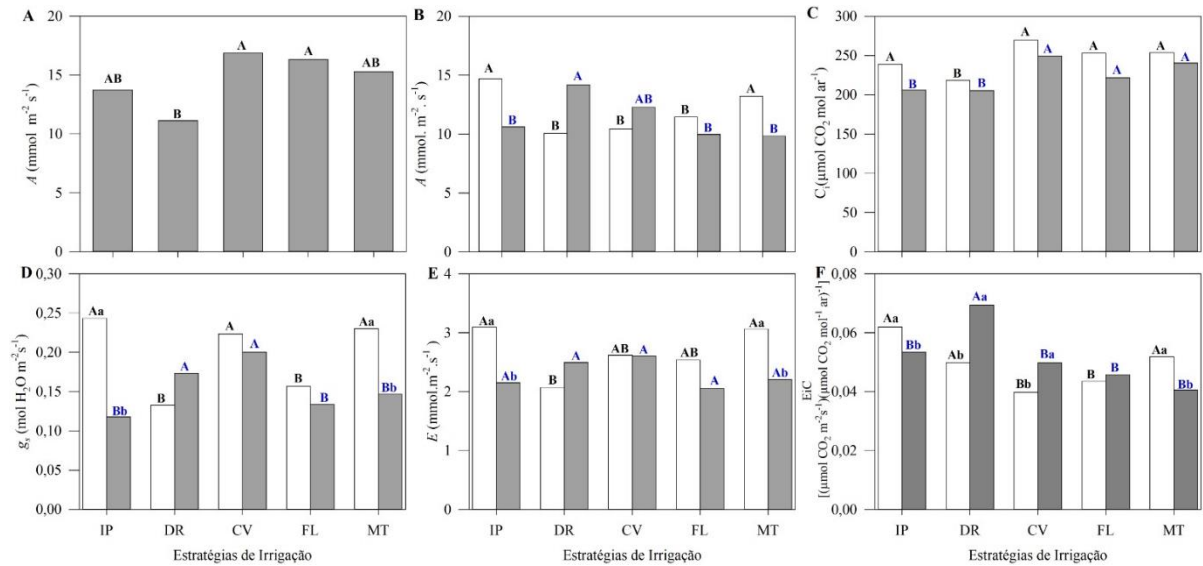


Figura 2. Fotossíntese líquida (A) aos 34 DAT (A), fotossíntese líquida (A) (B), concentração subestomática de CO_2 (C_i) (C), condutância estomática (g_s) (D), transpiração (E) (E) e eficiência instantânea de carboxilação (EiC) (F) de plantas de meloeiro aos 49 DAT. Letras minúsculas indicam diferenças significativas entre os níveis de biochar pelo Teste t ($p \leq 0,05$). Diferentes letras pretas maiúsculas indicam diferenças significativas entre as estratégias de irrigação no solo sem biochar. Diferentes letras azuis maiúsculas indicam diferenças significativas entre as estratégias de irrigação no solo com biochar pelo Teste Tukey ($p \leq 0,05$).

A fotossíntese não foi influenciada pela aplicação do biochar, nas duas épocas de avaliação (34 e 49 dias DAT), mesmo com redução da abertura estomática provocada pela aplicação do biochar, aos 49 DAT nos tratamentos de IP e MT (Figura 2D). Nesses tratamentos, a transpiração seguiu o mesmo comportamento da condutância estomática (Figura 2E), com menor perda de água pelas plantas que receberam biochar, resultando em uma maior eficiência do uso da água pelas plantas com boa nutrição hídrica e que receberam biochar.

Todos os tratamentos que não receberam biochar e tiveram restrição hídrica até os 49 DAT (DR, CV e FL) apresentaram menor taxa fotossintética quando comparadas com os tratamentos sem restrição hídrica até esse momento (IP e MT) (Figura 2B), ao passo que a fotossíntese daquelas que receberam biochar e restrição hídrica não foi afetada (Figura 2B).

Com relação à condutância estomática aos 49 DAT, houve redução dessa variável nos tratamentos com restrição hídrica no momento da avaliação (DR e FL), nas plantas que não receberam biochar. Isso ocorreu por que fisiologicamente as plantas fecham os estômatos como uma resposta instantânea ao déficit hídrico, a fim de reduzir a perda de água por transpiração.

Entretanto, naquelas que receberam o biocarvão, a condutância teve comportamento variado, sem apresentar uma resposta homogênea ao déficit hídrico (Figura 2D).

Essas limitações estomáticas normalmente acarretam em uma redução nas taxas fotossintéticas, inibindo o fluxo de CO₂ e a absorção de nutrientes pelas raízes (Chaves et al., 2003), fato não observado nas plantas que receberam biochar no presente trabalho.

A EiC aos 49 DAT foi mais elevada nas plantas com restrição hídrica durante todo o ciclo (especialmente nas que receberam biochar) (Figura 2F). Isso é decorrente do fato da velocidade de fixação de dióxido de carbono que é absorvido e utilizado no processo de fotossíntese, depender não somente da concentração de CO₂, mas também do acceptor e da atividade enzimática (Peixoto, 2020). Dessa forma, nas plantas estressadas há uma maior eficiência na atividade da Rubisco, para compensar a restrição da entrada de CO₂ para a câmara subestomática, em decorrência da redução na abertura estomática.

CONCLUSÕES

A restrição hídrica durante todo o ciclo reduziu as trocas gasosas das plantas de meloeiro, especialmente naquelas que não receberam adubação com biochar.

O uso do biochar reduziu a abertura estomática das plantas bem hidratadas, sem prejuízo para a taxa fotossintética, aumentando a eficiência do uso da água por essas plantas.

É possível se reduzir a aplicação de água em determinados estádios de desenvolvimento de plantas de meloeiro, sem prejuízo para a fixação de CO₂ das mesmas, quando essa restrição for associada ao uso do biochar no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAVALCANTI, N. M. S et al. Aspectos agronômicos do meloeiro ‘Mandacaru’ cultivado em ambiente protegido sob irrigação. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 2, p. 261-272, mai. 2015.

CHAVES, Maria Manuela; MAROCO, João Paulo; PEREIRA, João Santos. Understanding plant responses to drought - from genes to the whole plant. **Funct Plant Biol**, v. 30, n. 3, p. 239-264, 2003.

FERREIRA, Daniel Furtado. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, p. 1039-1042, dez. 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sidra: sistema IBGE de recuperação automática**. Produção Agrícola Municipal. Available at: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5457>>.

KATTERER, Thomas et al. Biochar addition persistently increased soil fertility and yields in maize-soybean rotations over 10 years in subhumid of kenya. **Field Crops Research**, v.235, p. 18-26, 2019.

LEHMANN, Johannes; JOSEPH, Stephen. Biochar for environmental management. **Science, Technology and Implementation**, 2. ed. New York, 2015.

LEITE, Emerson Wilberto Silva et al. Produtividade, fisiologia e qualidade de melão amarelo cultivado com biofertilizante. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 53, e75846, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pat/a/Gjn6rmDj65KzRC5Cnw9FFhD/>. Acesso em: 30 jun. 2025.

MAIA, Claudia Maria Branco de Freitas. **Biochar: Uma nova ferramenta no manejo de solos**. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO FLORESTAL, 11., 2010, Colombo. Anais [...]. Paraná: Embrapa Florestas, 2010. 7p

PEIXOTO, Clovis Pereira. **Princípios de Fisiologia vegetal: Teoria e prática**. Rio de Janeiro: Pod, 2020. p. 257.

SANTOS, Tayane de Lima et al. Cleaner fruit production with green manure: The case of Brazilian melons. **Journal of Cleaner Production**, v. 181, n. 1, p. 260-270, 2018.