



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Morfofisiologia do Milheto em Função da Cobertura Morta e Sistemas de Cultivo em Ambiente Semiárido

Mirna Clarissa Rodrigues de Almeida^{1*}, Eduardo Soares de Souza², Maurício Luiz de Mello Vieira Leite³, José Nildo Tabosa⁴, José Raliuson Inácio Silva⁵, José Romualdo de Souza Lima⁶

¹Bolsista de doutorado pela FACEPE no Programa de Pós-graduação em Ciência Animal/ Universidade Federal do Vale do São Francisco. E-mail: mirna.26almeida@gmail.com. *Autor correspondência. ²Professor em Universidade Federal Rural de Pernambuco/ Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE/UAST. E-mail: eduardo.souza.rd@gmail.com. ³Professor em Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada – UFRPE/UAST. E-mail: nopalea21@yahoo.com.br. ⁴Engenheiro Agrônomo em Universidade Federal Rural de Pernambuco/Unidade Acadêmica de Serra Talhada - UFRPE/UAST. E-mail: raliuson.agro@gmail.com. ⁵Pesquisador em Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. E-mail: nildo.tabosa@ipa.br. ⁶Professor em Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. E-mail: romualdo.lima@ufape.edu.br.

Artigo recebido em 20/08/2024 e aceito em 09/12/2024

RESUMO

Regiões áridas e semiáridas apresentam sazonalidade na oferta de forragem nativa, além da inviabilidade de cultivo da maioria das espécies agrícolas. Portanto, um experimento de campo foi implementado para avaliar as características morfofisiológicas do milheto em sistemas de cultivo que utilizam cobertura morta e consórcio com leguminosas. O ensaio foi conduzido na UFRPE/UAST no período de agosto de 2019 a março de 2020. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com duas parcelas (com ou sem cobertura no solo), com quatro repetições, subdivididas para testar os efeitos de três sistemas de cultivo de milheto (solteiro, consorciado com feijão-caupi e consorciado com feijão-guandu). As plantas foram avaliadas em três ciclos de cultivo. A cobertura vegetal promoveu maior altura de plantas aos 20 e 60 dias após a emergência do milheto, além de redução do filocrono no primeiro ciclo. Não houve efeito dos tratamentos sobre o índice de área foliar e condutância estomática do milheto. A produção de matéria seca total do milheto não se alterou em função da cobertura morta e dos sistemas de cultivo nos dois ciclos de avaliação. Mesmo sob diferentes condições de cultivo e variabilidade de condições ambientais, o milheto mostrou-se altamente adaptado às condições adversas a que foi submetido. A associação entre cobertura morta e sistemas consorciados não alterou significativamente as características morfofisiológicas e o acúmulo de fitomassa do milheto.

Palavras-chave: IAF, leguminosas, morfogênese, *Pennisetum glaucum*

Morphophysiology of Millet as a Function of Mulch Cover and Cropping Systems in a Semi-arid Environment

ABSTRACT

Arid and semi-arid regions present seasonality in the supply of native forage, in addition to the unfeasibility of cultivating most agricultural species. A field experiment was implemented to evaluate the impact of mulch and millet-legume intercropping on the morphophysiological characteristics and productivity of millet in semi-arid conditions. The trial was conducted at UFRPE/UAST from August 2019 to March 2020. The experimental design was in randomized blocks, with two plots (with or without soil cover), with four replications, subdivided to test the effects of three millet cultivation systems (single, intercropped with cowpea and intercropped with pigeonpea). The plants were evaluated in three cultivation cycles. The vegetation cover promoted greater plant height at 20 and 60 days after millet emergence, in addition to reducing phyllochron in the first cycle. There was no effect of the treatments on the leaf area index and stomatal conductance of millet. The total dry matter production of millet did not change depending on mulch and cultivation systems in the two evaluation cycles. Even under different cultivation conditions and variability of environmental conditions, millet proved to be highly adapted to the adverse conditions to which it was subjected. The association between mulch and intercropped systems did not significantly alter the morphophysiological characteristics and phytomass accumulation of millet.

Keywords: LAI, legumes, morphogenesis, *Pennisetum glaucum*.

Introdução

Regiões áridas e semiáridas possuem relevância global no que diz respeito a fatores ecossistêmicos. Seus territórios abrangem aproximadamente 41% da superfície terrestre e abrigam mais de 2 bilhões de pessoas. Estes ecossistemas caracterizam-se por apresentarem, devido ao volume restrito e à distribuição irregular das chuvas, pouca água disponível no solo durante a maior parte do ano (Hassan et al., 2022; Huang & Zhai 2023; Oliveira Filho et al., 2019).

As características do clima, associado ao uso inadequado dos recursos naturais e ao manejo dos sistemas de produção, têm reduzido o potencial produtivo dos solos, bem como a funcionalidade dos agroecossistemas (Milhorange et al., 2019; Morris & Blackwood, 2024; Sampaio et al., 2020;). Dentre as práticas degradantes, a remoção da vegetação nativa provoca exposição do solo e aumenta sua suscetibilidade à agentes erosivos, como chuva, vento e pisoteio de animais. Com isso, há uma alteração nas características químicas, físicas e biológicas do solo, reduzindo assim, sua capacidade produtiva (Ameer et al., 2023; Kooch et al., 2024; Sadeghian et al., 2021).

Esses problemas recorrentes impactam a pecuária, uma das principais atividades econômicas do Semiárido brasileiro (Lemos, 2020), em decorrência da irregularidade no fornecimento de forragem para os animais. A vegetação da Caatinga é formada por um amplo espectro de espécies, abrangendo extratos herbáceos, lenhosos e cactáceos (Santos et al., 2023). No entanto, a exploração indiscriminada dessa vegetação reduz o volume de forragem disponível e sua qualidade nutricional (Pinheiro et al., 2021).

Para mitigar os efeitos negativos, devem ser adotadas estratégias de convivência com um ecossistema xerófilo (Bezerra et al., 2022). Neste caso, sistemas que associem a utilização de espécies adaptadas ao ambiente a práticas de gestão que otimizem os recursos naturais disponíveis são essenciais para o sucesso das atividades agrícolas na região (Araújo Júnior et al., 2023; Hoque et al., 2023).

Diversas estratégias vêm sendo adotadas e estudadas em ambientes semiáridos, destacando-se o manejo de irrigação com aplicação de lâminas baseado nas necessidades da cultura (Araújo Júnior et al., 2023; Han et al., 2021); manejo de solo visando a manutenção dos estoques de carbono e microbiota (Ali & Shukla, 2024; Medeiros et al., 2023; Odebiri et al., 2024); utilização de sistemas

produtivos mistos, utilizando rotação de culturas ou consórcios; uso de cobertura morta visando reduzir as perdas de água e aumentar os estoques de carbono (Lv et al., 2023; Souza et al., 2023); e por fim, o uso de espécies com baixa necessidade hídrica, como sorgo, feijão-caupi, palma forrageira, feijão-guandu e milheto (Guarnaccia et al., 2024; Hoque et al., 2023; Vieira Junior et al., 2023;).

Estudos voltados para cultivo de espécies xerófilas, têm demonstrado que essas plantas desenvolveram ao longo dos anos diversas características morfofisiológicas para sobreviver em ambientes secos e quentes. Classificam-se de acordo com suas estratégias de sobrevivência, podendo ser efêmeras (ciclo curto), suculentas e lenhosas. Entre as características morfoanatômicas, pode-se frisar redução da lâmina foliar, pubescência, parede celular espessa, compactação do mesófilo e alta eficiência de uso de água (Bezerra et al., 2021; Sabino et al., 2021; Santos et al., 2021).

Dentro desse nicho, o milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) é uma espécie adaptada a ambientes semiáridos, com alta tolerância ao déficit hídrico e às altas temperaturas do ar, destacando-se pela multiplicidade de usos: produção de grãos, proteção do solo e como uma cultura forrageira: na silagem, na fenação e no pastejo direto (Rashid et al., 2024; Singhal et al., 2022; Sow et al., 2024).

Estima-se que cerca de 31 milhões de hectares são cultivados com o milheto em todo o mundo, demonstrando a importância econômica dessa espécie, principalmente em regiões de semiaridez (Rashid et al., 2024). É considerado o sexto cereal mais importante do planeta, servindo de alimento para mais de 90 milhões de pessoas (Satyavathi et al., 2021; Wang et al., 2024). Diferentemente de outros cereais, o milheto tem a capacidade de desenvolver-se em locais com precipitação média anual acima de 250 mm tolerar temperaturas do ar maiores que 42°C mesmo no estágio reprodutivo (Wang et al., 2024).

No entanto, embora seja uma cultura que apresenta alta tolerância ao déficit hídrico, alguns estudos demonstram que sob condições severas em estágios cruciais de crescimento, o milheto pode apresentar perdas de rendimento variando entre 30% e 70% (Shrestha et al., 2023; Sine et al., 2024). Isto demonstra que devido à sua importância econômica e aos seus mecanismos de tolerância à seca, estudos devem abordar diferentes estratégias de cultivo que melhor se adaptem ao milheto, para que assim, possa ser explorado seu máximo potencial de cultivo (Shanker et al., 2022; 2024).

Baseado nesta premissa, Iwuala et al. (2020) abordam em seus estudos a importância do

conhecimento das bases genéticas da espécie, para determinar quais variedades possuem maior tolerância aos estresses abióticos. De maneira semelhante, Shanker et al. (2024) demonstraram que o estresse hídrico promove alterações fisiológicas através do aumento no número de centros de reações no fotossistema II, resultando em menor número de fótons absorvidos. Neste mesmo estudo, os autores sugerem a adoção de práticas para reduzir essas respostas.

Buscando alternativas de cultivo para o milheto, visando a redução do estresse hídrico, Murali et al. (2021) utilizaram bactérias indutoras de tolerância ao déficit hídrico no milheto e obtiveram resultados promissores. De modo semelhante, Có et al. (2023) demonstraram em seus estudos que a adubação nitrogenada aumenta a eficiência de uso de água e a taxa fotossintética do milheto, quando este é irrigado com água salina. Ainda dentro desse contexto de estratégias associadas em ambientes de semiaridez, Pereira et al. (2023) destacaram o uso da irrigação, cultivo em consórcio e cobertura morta como práticas que podem ser utilizadas para aumentar o rendimento do milheto.

Consortiado com leguminosas, o milheto tem-se mostrado uma cultura promissora (Kamdi et al., 2024; Nelson et al., 2018). Bertolino et al. (2021a,b) obtiveram resultados positivos quanto ao consórcio de crotalaria e milheto para produção de biomassa para plantio direto. Pereira et al. (2023) destacam o uso da cobertura morta como uma alternativa para reduzir o estresse hídrico em milheto.

O uso de cobertura morta é uma prática indispensável para aumentar a retenção de água no solo, a fertilidade através do fornecimento de matéria orgânica, melhorar suas propriedades físicas, mitigar os efeitos da erosão (Al-Qthanin et al., 2024; Kader et al., 2019; Lv et al., 2023;), reduzir a incidência direta de radiação e diminuir a perda de água por evaporação, mantendo por mais tempo o armazenamento de água no solo (Kader et al., 2019).

A utilização de material vegetal para cobertura do solo aumenta a ciclagem de nutrientes no ecossistema de cultivo, fornecendo assim, elementos importantes como N, P e K. Seguindo com os benefícios, a utilização da cobertura morta no solo pode contribuir para o aumento da comunidade microbiana do solo, beneficiando o agroecossistema de maneira geral (Liu et al., 2024). Além de promover aumento da agregação do solo através da biomassa microbiana, o uso de cobertura

morta aumenta o sequestro de carbono e nitrogênio (Wang et al., 2021).

Desse modo, a utilização de resíduos vegetais para cobertura do solo em regiões semiáridas pode minimizar os impactos da sazonalidade de chuvas e mitigar as ações antropogênicas (Alves et al., 2022). Nesse contexto, Carvalho et al. (2021) utilizando cobertura morta no cultivo de sorgo forrageiro irrigado com águas residuárias, concluíram que a cobertura beneficiou a produtividade do sorgo. Quando irrigado com água salina, a produtividade do sorgo aumenta no cultivo com cobertura morta, atenuando a importância dessa prática em ambientes semiáridos (Oliveira et al., 2024). Goes et al. (2021) demonstraram em seus estudos que a cobertura morta atenua os efeitos da salinidade no cultivo de milho irrigado.

No Brasil a cobertura morta é comumente utilizada no cultivo de soja, que é uma cultura de larga escala e importância econômica para o país. Entretanto, outras leguminosas também possuem importância econômica, como é o caso do cultivo de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) e feijão-guandu (*Canajus cajan* L.) no Semiárido (Aguilar & Lima, 2023; Dantas et al., 2021; Demambro et al., 2021; Luna et al., 2021; Rocha et al., 2022; Soares et al. 2021; Souza et al., 2023). Portanto, devem ser mais estudadas com a adoção de práticas de manejo que reduzam os impactos da seca, como o uso de cobertura morta e o consórcio com gramíneas.

Isto por que, leguminosas são utilizadas desde os tempos antigos, devido aos seus inúmeros benefícios, como a fixação biológica do nitrogênio (Chamkhi et al., 2022). Quando consorciadas com gramíneas, proporcionam maior cobertura vegetal, contribui para o aumento de matéria orgânica e com isso aumento da diversidade de microrganismos do solo (Glaze-corcoran et al., 2020).

Como consequência da diversificação de espécies na mesma área e do maior fornecimento de matéria orgânica, há maior ciclagem de nutrientes e armazenamento de carbono no solo. Outro fator importante é o aumento do volume de raízes no cultivo em consórcio, que contribui para a dinâmica da matéria orgânica, uma vez que, as raízes liberam exsudatos como carboidratos e ácidos orgânicos. Estes compostos são metabolizados e transformados em açúcares e aminoácidos, servindo como fonte de energia para microbiota responsável pela decomposição da matéria orgânica (Souza et al., 2024). Além disso, a utilização dessas plantas na dieta animal é relevante, devido ao alto teor proteico (Harouna et al., 2018).

Das espécies de leguminosas utilizadas em sistemas de consórcio no Semiárido brasileiro, o feijão-caupi é uma das mais conhecidas. Esta espécie é uma leguminosa africana que possui alto teor de proteína, boa adaptação a solos de baixa fertilidade e adaptação a seca e altas temperaturas do ar. Sua produção atual está em torno de 6,5 milhões de toneladas, cultivadas em 14,5 milhões de hectares em todo o mundo (Sousa et al., 2024). Dentre as principais características desta espécie, destaca-se sua multiplicidade de usos, já que seus grãos são consumidos por humanos, enquanto as vagens, folhas e ramos servem como fonte de alimento para os animais (Goa et al., 2022).

Quanto aos estudos sobre o cultivo de feijão-caupi, Murga-Orrillo et al. (2016) demonstraram que o uso de cobertura morta reduz o consumo e de água e aumenta sua eficiência produtiva. Já Souza et al. (2024) concluíram que a combinação de cobertura morta com irrigação de 80% da evapotranspiração da cultura perfaz uma estratégia adequada de manejo do feijão-caupi. O consórcio entre feijão-caupi e mandioca, mostrou-se mais eficiente que outras combinações de espécies (Nascimento et al., 2021). A consorciação de feijão-caupi e milho demonstrou alta eficiência de uso da terra, segundo Cardoso et al. (2024).

Outra leguminosa muito difundida no Semiárido brasileiro, é o feijão-guandu, que é uma importante leguminosa fonte de renda para muitos produtores dos trópicos semiáridos. Esta espécie contribui de forma significativa para a agregação do solo, fornecimento de matéria orgânica e sequestro de carbono. Dentre as principais características do guandu, está sua alta fixação de N por unidade de área, que é maior que outras leguminosas (Costa et al., 2021; Danquah et al., 2022).

Segundo Aguiar e Lima (2023) o feijão-guandu tem potencial multifuncional nos sistemas de produção agrícola, devendo ser mais explorado e estudado para aprimorar seu manejo em regiões de semiaridez. Bem como, Dantas et al. (2021) afirmam em seus estudos que o feijão-guandu apresenta alto potencial forrageiro, devendo ser cultivado como banco de proteína nessas áreas.

Pesquisas utilizando cobertura morta e consórcio com leguminosas têm sido desenvolvidas e difundidas no Semiárido brasileiro (Lima et al., 2020; Carvalho et al., 2021; Barbosa et al., 2021; Goes et al., 2021).

Porém, até o momento, não foram encontrados estudos que avaliem o desempenho de gramíneas em sistemas de cultivo que associam cobertura morta e consórcio com leguminosas no mesmo espaço. Estudos envolvendo características

morfogênicas e respostas fisiológicas das plantas permitem melhor compreensão da dinâmica da produção vegetal sob estas condições (Pacheco et al., 2019) e eficiência no uso dos recursos naturais disponíveis.

Baseado nos estudos recentes e considerando a associação de estratégias de manejo em ambiente semiárido, têm-se como hipótese que a aplicação simultânea dessas duas estratégias de manejo melhore as características morfofisiológicas da planta e, conseqüentemente, aumente a produção de fitomassa. Diante do exposto, objetivou-se avaliar as características morfofisiológicas do milho em sistemas de cultivo que utilizam cobertura morta e consórcio com leguminosas.

Material e métodos

Descrição da área experimental

O experimento foi conduzido no período de agosto de 2019 a março de 2020 na área experimental da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Unidade Acadêmica Serra Talhada (UAST), em Serra Talhada – PE, microrregião do Sertão do Pajeú, a uma altitude de 509 m, com coordenadas geográficas de 7°57'24" de latitude sul e 38°17'44" de longitude oeste (Figura 1). Segundo a classificação de Köppen, o clima enquadra-se no tipo BShw', denominado semiárido, quente e seco, com precipitação média anual de 632 mm ano⁻¹, ocorrendo no verão-outono, e temperatura média do ar acima de 25 °C. (Alvares et al., 2013; Araújo Júnior et al., 2021).

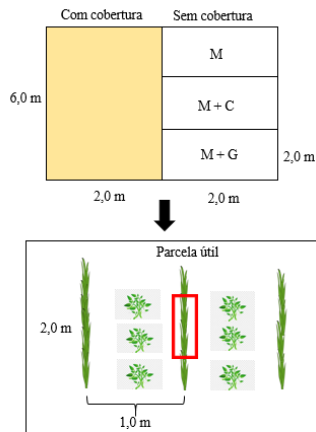


Figura 1: Localização da área experimental. Fonte: Google Maps.

Projeto, disposição espacial e tratamentos

Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, com parcelas subdivididas, com quatro repetições (Figura 2). As parcelas principais foram constituídas pela ausência e presença de cobertura morta na superfície do solo,

utilizando palha de pastagem nativa com predomínio de capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*). Nas subparcelas foram estabelecidos três sistemas de cultivo, sendo eles: milho solteiro (*Pennisetum glaucum*), milho consorciado com feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) e milho consorciado com feijão-guandu (*Cajanus cajan*). Para a semeadura foram escolhidas as cultivares IPA BULK 1 BF, BRS Pujante e BRS Mandarin, de milho, feijão-caupi e feijão-guandu, respectivamente.



M = Milho solteiro; M + C = Milho + feijão-caupi; M + G = Milho + feijão-guandu;

Figura 2: Croqui da área experimental. Fonte: arquivo pessoal.

Na subparcela com 2,0 m de comprimento foram estabelecidas três linhas de milho, com espaçamento de 1,0 m entre linhas e 15 plantas por metro linear, 150.000 plantas ha^{-1} (Figura 2). Adicionalmente, em cada consórcio, foram acrescentadas duas fileiras de leguminosas entre as fileiras de milho, perfazendo três fileiras de milho e duas de leguminosas. Foi adotado espaçamento de 1,0 x 0,5 m (20.000 plantas ha^{-1}) para o feijão-caupi e de 1,0 x 0,3 m (33.333 plantas ha^{-1}) para o feijão-guandu. Como área útil da parcela foram consideradas plantas de milho situadas na linha central de cada subparcela, tomando-se o cuidado de deixar 0,5 m de cada lado da linha correspondente à borda.

Implantação e condução experimental

Antes da implantação do experimento, o solo foi preparado com aração e gradagem. Logo após foram coletadas amostras de solo da camada de 0-20 cm para análise química. O solo da área é classificado como Cambissolo Háplico Ta Eutrófico (Embrapa, 2013), com os seguintes atributos químicos: pH (água) = 6,80; P (extrator Mehlich I)

= 38,0 mg dm^{-3} ; K^+ = 0,88 cmolc dm^{-3} , Ca^{2+} = 5,50 cmolc dm^{-3} , Mg^{2+} = 1,6 cmolc dm^{-3} e Al^{3+} = 0,0 cmolc dm^{-3} , Matéria orgânica = 6,24 g kg^{-1} , SB = 7,98 cmolc dm^{-3} e CTC = 7,98 cmolc dm^{-3} . Não foi realizada adubação na área para não mascarar as respostas biológicas de fixação de nitrogênio das leguminosas.

No dia 02/09/2019 o milho foi semeado em sulcos com 5,0 cm de profundidade. Cinco dias após a semeadura, aproximadamente um dia após a emergência (DAE) de todas as plantas de milho, as linhas foram desbastadas, restando 15 plantas por metro linear. Aos 10 DAE do milho (15/09/2019) foi realizada a semeadura das leguminosas, com três sementes por cova nos respectivos espaçamentos e aos 10 DAE de cada leguminosa ocorreu o desbaste, deixando uma planta por cova. No dia 25/09/2019, aos 20 DAE do milho, foi adicionada cobertura morta nas parcelas escolhidas para esse fim. Foi adotada a quantidade de 10 Mg ha^{-1} , correspondente a 16 kg por parcela de material vegetal seco ao sol, coletado próximo à área experimental.

A partir de uma lâmina de 400 mm necessária ao ciclo de crescimento do milho, as parcelas experimentais foram irrigadas três vezes por semana, sempre no final da tarde, utilizando o sistema de irrigação por gotejamento. No segundo ciclo, devido à ocorrência de chuvas, a área foi irrigada apenas até 40 dias após o corte (DAC), correspondendo a 280 mm aplicados. No terceiro ciclo não houve irrigação. Os dados meteorológicos do período experimental são provenientes de uma Estação Meteorológica, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, www.inmet.gov.br), localizada próxima à área (Figura 3).

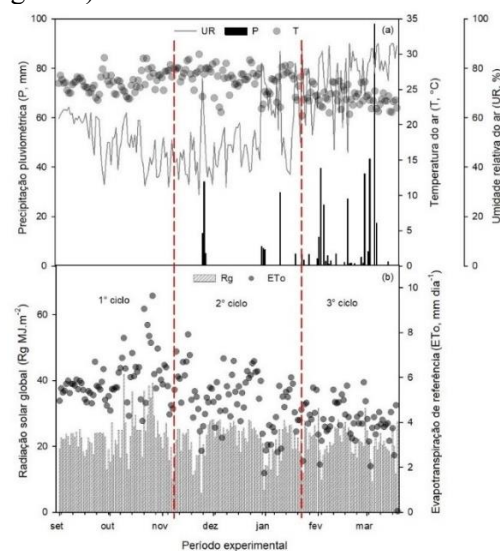


Figura 3: Variação da precipitação (P, mm), temperatura média do ar (T, °C), umidade relativa

do ar (UR, %) (a), radiação solar global (R_g , MJ m⁻²) e evapotranspiração de referência (E_{To} , mm dia⁻¹) (b) de 1º de setembro de 2019 a 20 de março de 2020. Serra Talhada – PE.

Avaliação do crescimento do milheto

Para avaliação do milheto foram considerados três ciclos de medição (CM): i) I-CM, desde a semeadura até o primeiro corte do milheto (02/09/2019 a 21/11/2019); ii) II-CM, do primeiro ao segundo corte (21/11/2019 a 28/01/2020); iii) III-CM, do segundo corte até o final do experimento (28/01/2020 a 19/03/2020).

Aos 20, 40 e 60 DAE do I-CM, 30 e 60 DAC do II-CM e 30 e 60 DAC do III-CM foram realizadas análises morfométricas em três plantas da parcela útil para monitorar o crescimento do milheto através das seguintes características estruturais: comprimento do colmo (Figura 4) (CC, distância da base da planta até a lígula da última folha expandida).



Figura 4: Aferição do comprimento do colmo. Fonte: arquivo pessoal.

O número de folhas vivas expandidas (NFVE, contagem de folhas que possuíam lígula) (Figura 5), número de folhas vivas em expansão (NFVEE, folhas crescendo com lígula imperceptível) (Figura 6), número total de folhas vivas (NFV, somatório de folhas expandidas e em expansão), número de folhas senescentes (NFS, escore de folhas com mais da metade do limbo com

clorose), largura da lâmina foliar (L, medido na região média da folha mais antiga totalmente expandida) e comprimento da lâmina foliar (C, distância da lígula ao ápice da mesma folha).



Figura 5: Folhas totalmente expandidas. Fonte: arquivo pessoal.



Figura 6: Folhas em expansão. Fonte: arquivo pessoal.

A área foliar (AF) do milheto foi obtida com o modelo: $AF = 0,879CL^{0,971}$ (Leite et al., 2019). O índice de área foliar (IAF) foi medido com sensor ceptômetro portátil (AccuPAR LP-80, Decagon Devices, Pullman, EUA), método não destrutivo de interceptação de luz, sendo avaliado na área útil de cada subparcela.

Características morfológicas

A partir das características estruturais das plantas foram determinadas as variáveis morfogênicas do milho, estabelecidas pelas taxas de aparecimento de folhas, TApF (N° folhas dia⁻¹), alongamento foliar, TAF (mm folha⁻¹ dia⁻¹), senescência foliar, TSF (cm dia⁻¹) alongamento do caule, TAC (cm dia⁻¹) e filocrono, FIL (dias foliares⁻¹) (Pereira et al., 2011). A diferença entre dois valores de uma mesma variável estrutural num determinado intervalo de tempo permite definir as taxas de crescimento, da seguinte forma:

$$TApF = \frac{NFVE_f - NFVE_i}{\Delta t} \quad (1)$$

$$TAF = \frac{CF_f - CF_i}{\Delta t} \quad (2)$$

$$TSF = \frac{CFS(f) - CFS(i)}{\Delta t} \quad (3)$$

$$TAC = \frac{CC_f - CC_i}{\Delta t} \quad (4)$$

onde NFVE é o número de folhas expandidas, CF é o comprimento de cada lâmina foliar, CFS é o comprimento do tecido verde, CC é o comprimento do caule e Δt (tf - ti) é o período de avaliação. Os subscritos i e f representam os momentos inicial e final, respectivamente.

O filocrono (FIL) é o inverso do TApF, ou seja, o intervalo de tempo, em dias, para o aparecimento das folhas no perfilho, definido como:

$$FIL = \frac{1}{TApF} \quad (5)$$

Produção de fitomassa de milho

No dia 21/11/2019, todas as plantas de milho da porção útil de cada tratamento foram cortadas a uma altura de 15 cm do solo, pesando-as em balança eletrônica a fim de extrapolar a produtividade da cultura no primeiro ciclo. As três plantas marcadas nas avaliações morfométricas foram separadas e fracionadas em caule, folhas vivas, panícula e material morto. Em seguida, foram obtidas a fitomassa fresca e seca dos componentes morfológicos fracionados. A fitomassa seca total foi obtida através da soma da fitomassa dos componentes morfológicos. Repetindo o mesmo procedimento em 28/01/2020, correspondente ao término do segundo período de avaliação.

Análise estatística

Os dados coletados foram submetidos ao teste de normalidade (Shapiro-Wilk) e homocedasticidade (Cochran). Uma vez atendidas essas premissas, foi realizada análise de variância ($p > 0,05$) para detectar o efeito dos tratamentos e possíveis interações entre as fontes de variação. Em caso de efeito significativo, foi realizado o teste de Tukey ($p > 0,05$) para comparação das médias. Todas essas análises foram realizadas utilizando o software R-project versão 4.4.1 (R Core Team, 2022).

Resultados

Informações sobre variações nas características meteorológicas durante o período experimental são essenciais para a compreensão dos resultados desta pesquisa. No primeiro ciclo de avaliação (02/09/2019 a 21/11/2019) não houve registros de chuva na área experimental (Figura 1). A temperatura média do ar manteve-se em torno de 26,4°C, com máxima de 33°C e mínima de 18°C. A umidade relativa do ar em torno de 46,7%, com máxima de 77% e mínima de 14%. A evapotranspiração média de referência (ET_o) durante o período experimental foi de 5,80 mm.dia⁻¹, com variação entre 9,64 e 4,04 mm.dia⁻¹.

No segundo ciclo da safra (21/11/2019 a 28/01/2020) os registros de chuva ocorreram a partir de dezembro, com acumulado de 123,2 mm. A temperatura média do ar permaneceu em torno de 25,9°C, com máxima de 30,6°C e mínima de 20,9°C. Nesse período, a umidade relativa do ar ficou em torno de 46,7%, com máxima de 88% e mínima de 27%. A evapotranspiração média nesse período foi de 4,68 mm.dia⁻¹, com variação entre 6,85 e 1,75 mm.dia⁻¹ (Figura 1). No terceiro ciclo (28/01/2020 a 19/03/2020) a temperatura média do ar foi de 23,8 °C, com máxima de 27,4 °C e mínima de 21,7 °C. A umidade relativa do ar variou entre 47% e 90%. A precipitação acumulada no período foi de 336 mm.

Aos 20 dias após a emergência não foram observados efeitos da cobertura morta nas variáveis taxa de aparecimento de folhas (TApF), filocrono (FIL) e taxa de alongamento foliar (TAF) do milho ($p > 0,05$) (Tabela 1). Já os sistemas de cultivo influenciaram a TApF e o FIL ($p < 0,05$). As maiores TApF neste período foi observada no cultivo de milho solteiro, não diferindo do consórcio com o feijão-caupi. O consórcio entre milho e feijão-guandu apresentou menor TApF (0,12 n° folhas dia⁻¹), diferindo apenas do cultivo solteiro (Tabela 1).

Tabela 1. Taxa de aparecimento de folhas (TApF, N° folhas dia⁻¹), filocrono (FIL, folha dias⁻¹), taxa de alongamento foliar de milho (TAF, mm folha⁻¹ dia⁻¹) em três sistemas de cultivo, na presença e ausência de adubo, aos 20, 40 e 60 dias após a emergência do milho

Tratamentos	TApF	FIL	TAF
Cobertura	20 dias após a emergência		
Presença	0,26±0,05	2,84±1,22	0,31±0,09
Ausência	0,29±0,09	4,74±1,76	0,43±0,17
p-valor	0,18	0,21	0,21
Sistema de cultivo			
Solteiro (Milheto)	0,40±0,05 a	2,06±1,27 b	0,49±0,12
Milheto + Caupi	0,30±0,09 ab	2,60±1,75 ab	0,44±0,11
Milheto + Guandu	0,12±0,07 b	6,72±1,47 a	0,18±0,17
p-valor	0,003	0,02	0,06
Cobertura	40 dias após a emergência		
Presença	0,19±0,09	9,84±0,73	0,07±0,15
Ausência	0,12±0,10	9,51±0,75	0,10±0,18
p-valor	0,22	0,79	0,14
Sistema de cultivo			
Solteiro (Milheto)	0,24±0,08	8,53±0,38	0,14±0,16
Milheto + Caupi	0,08±0,13	9,83±0,72	0,15±0,09
Milheto + Guandu	0,13±0,06	10,67±0,89	0,15±0,25
p-valor	0,09	0,70	0,15
Cobertura	60 dias após a emergência		
Presença	0,13±0,05	8,48±1,22 b	0,33±0,09
Ausência	0,10±0,09	12,77±1,76 a	0,34±0,17
p-valor	0,64	0,01	0,15
Sistema de cultivo			
Solteiro (Milheto)	0,23±0,05 a	6,64±1,27	0,33±0,12
Milheto + Caupi	0,06±0,09 b	10,75±1,75	0,38±0,11
(Milheto + Guandu	0,05±0,07 b	14,47±1,47	0,29±0,17
p-valor	0,007	0,06	0,15

Médias ± desvio padrão seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey (p<0,05).

Em contrapartida, o maior tempo de surgimento entre lâminas foliares do milho foi observado com cultivo em consórcio com o feijão-guandu ($p < 0,05$). Não houve efeito dos sistemas de cultivo na TAF aos 20 dias após a emergência do milho ($p > 0,05$) (Tabela 1).

Seguindo a dinâmica de crescimento do milho, aos 40 dias após a emergência não foram observados efeitos da cobertura morta e dos sistemas de cultivo nas variáveis descritas na Tabela 1 ($p > 0,05$). Enquanto isso, aos 60 dias após a emergência do milho, a cobertura morta promoveu maior FIL, enquanto o cultivo de milho solteiro apresentou maior surgimento de folhas em comparação aos consórcios ($p < 0,05$). Nesse período, a TAF não apresentou diferenças significativas em função das fontes de variação ($p > 0,05$).

Na Tabela 2 encontram-se as TApF, FIL e TAF do milho aos 60 dias após o primeiro e segundo cortes, respectivamente. Não foram observados efeitos da cobertura morta e dos sistemas de cultivo nesses períodos ($p > 0,05$). Aos 60 dias após o primeiro corte, as médias de TApF, FIL e TAF foram, $0,44 \text{ n}^\circ \text{ folhas dia}^{-1}$, $3,89 \text{ folhas dia}^{-1}$, $0,39 \text{ mm folha dia}^{-1}$, respectivamente. Já aos 60 dias após o segundo corte, as médias das variáveis foram $0,24 \text{ n}^\circ \text{ folhas dia}^{-1}$ para TApF, $5,64 \text{ folhas dia}^{-1}$ para FIL e $0,19 \text{ mm folha dia}^{-1}$ para TAF.

Na Tabela 3 encontram-se as médias de área foliar (AF), taxa de alongamento de colmo (TAC) e taxa de senescência foliar (TSF) do milho aos 20, 40 e 60 dias após a emergência do milho. Não houve efeito da cobertura morta, e/ou dos sistemas de cultivo nas variáveis citadas ($p > 0,05$).

Tabela 2. Taxa de aparecimento de folhas (TApF, $\text{N}^\circ \text{ folhas dia}^{-1}$), filocorno (FIL, folha dias^{-1}), taxa de alongamento foliar de milho (TAF, $\text{mm folha}^{-1} \text{ dia}^{-1}$) em três sistemas de cultivo, na presença e ausência de adubo, aos 60 dias após o primeiro e segundo cortes, respectivamente

Tratamentos	TApF	FIL	TAF
Cobertura	60 dias após o 1º corte		
Presença	$0,44 \pm 0,16$	$4,21 \pm 1,12$	$0,42 \pm 0,20$
Ausência	$0,44 \pm 0,20$	$3,60 \pm 0,76$	$0,36 \pm 0,15$
p-valor	0,88	0,53	0,72
Sistema de cultivo			
Solteiro (Milho)	$0,45 \pm 0,16$	$3,60 \pm 0,84$	$0,36 \pm 0,20$
Milho + Caupi	$0,55 \pm 0,14$	$3,36 \pm 0,70$	$0,40 \pm 0,13$
Milho + Guandu	$0,31 \pm 0,20$	$4,67 \pm 1,22$	$0,41 \pm 0,18$
p-valor	0,12	0,45	0,92
Cobertura morta	60 dias após o 2º corte		
Presença	$0,31 \pm 0,13$	$6,82 \pm 3,45$	$0,11 \pm 0,18$
Ausência	$0,18 \pm 0,11$	$4,46 \pm 1,50$	$0,27 \pm 0,24$
p-valor	0,18	0,64	0,58
Sistema de cultivo			
Solteiro (Milho)	$0,27 \pm 0,18$	$5,87 \pm 3,53$	$0,21 \pm 0,37$
Milho + Caupi	$0,17 \pm 0,10$	$5,74 \pm 1,56$	$0,09 \pm 0,07$
Milho + Guandu	$0,29 \pm 0,08$	$5,32 \pm 2,16$	$0,27 \pm 0,05$
p-valor	0,56	0,99	0,53

Médias $\pm$ desvio padrão seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

Tabela 3. Área foliar (AF), taxa de alongamento do colmo (TAC) e taxa de senescência foliar (TSF) do milho em três sistemas de cultivo, na presença e ausência de cobertura vegetal, aos 20, 40 e 60 dias após a emergência

Tratamentos	AF	TAC	TSF
Cobertura	20 dias após a emergência		
Presença	61,76±12,49	1,65±0,25	0,12±0,02
Ausência	46,60±13,15	0,96±0,31	0,10±0,02
p-valor	0,16	0,09	0,43
Sistema de cultivo			
Solteiro (Milheto)	59,50±11,60	1,22±0,15	0,09±0,02
Milheto + Caupi	50,95±10,96	1,45±0,33	0,13±0,02
Milheto + Guandu	52,10±14,63	1,24±0,33	0,11±0,03
p-valor	0,42	0,50	0,13
Cobertura	40 dias após a emergência		
Presença	88,23±17,52	0,93±0,50	0,02±0,03
Ausência	78,14±18,08	1,40±0,61	0,03±0,04
p-valor	0,51	0,26	0,57
Sistema de cultivo			
Solteiro (Milheto)	93,54±7,93	1,39±0,55	0,06±0,02
Milheto + Caupi	83,46±11,75	1,27±0,61	0,002±0,03
Milheto + Guandu	72,55±18,16	0,83±0,63	0,02±0,06
p-valor	0,06	0,28	0,17
Cobertura	60 dias após a emergência		
Presença	100,15±20,44	1,29±0,25	0,07±0,02
Ausência	92,40±21,82	1,18±0,31	0,06±0,02
p-valor	0,55	0,55	0,49
Sistema de cultivo			
Solteiro (Milheto)	110,33±13,25 a	1,33±0,15	0,08±0,02
Milheto + Caupi	104,33±21,88 a	1,36±0,33	0,07±0,02
Milheto + Guandu	74,16±22,89 b	1,01±0,33	0,06±0,03
p-valor	0,004	0,09	0,52

Médias ± desvio padrão seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$)

De modo semelhante, a Tabela 4 mostra o efeito da cobertura morta e dos sistemas de cultivo na AF, TAC e TSF aos 60 dias após o primeiro e segundo corte, respectivamente. Nestes períodos, não foram observadas alterações em função dos tratamentos nas características morfogênicas do milho ($p > 0,05$).

Com relação ao índice de área foliar (IAF) a, observa-se na Figura 7 o efeito da cobertura morta e do cultivo em consórcio no milho, em três ciclos de avaliação. Não foram observados efeitos dos tratamentos no IAF do milho em nenhum dos momentos avaliados ($p > 0,05$).

No primeiro ciclo de cultivo o IAF médio, independente de cobertura morta e sistemas, foi de $1,22 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, no segundo ciclo a média foi de $0,64 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ e por fim, a média do terceiro ciclo foi de $0,7 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$.

O uso de cobertura morta e os sistemas de cultivo não influenciaram a produção de fitomassa seca total de milho nos dois ciclos (Figura 8 A e B). A produção média de biomassa seca de milho no primeiro ciclo foi de aproximadamente 3.880 kg ha^{-1} e no segundo, 3.820 kg ha^{-1} .

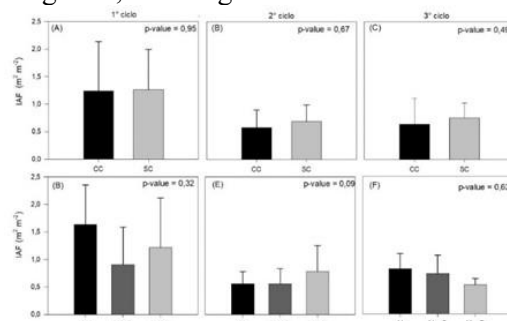


Figura 7. Índice de área foliar de milho na presença (CC) e ausência (SC) de cobertura morta (A, B e C), em três sistemas de cultivo [solteiro (M), consórcio milho + feijão-caupi (M + C) e milho + consórcio de feijão bóer (M + G) (D, E e F)] nos três ciclos de cultivo

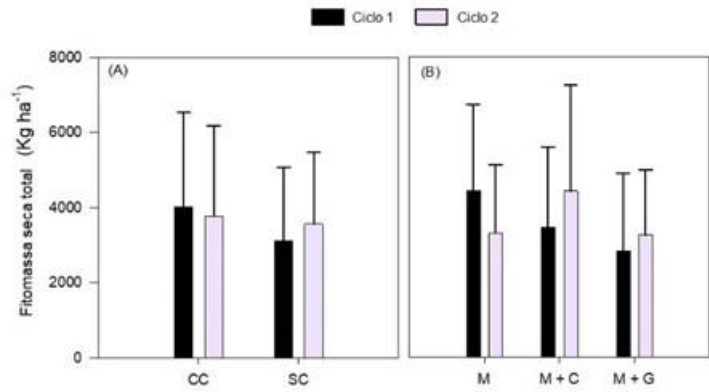


Figura 8: Acúmulo de fitomassa seca total (Kg ha^{-1}) do milho cultivado na presença (CC) e ausência (SC) de cobertura morta no solo (A), em três sistemas de cultivo [milho solteiro (M), consorciado com feijão-caupi (M + C) e consórcio com feijão bóer (M + G) (B) em dois ciclos de cultivo. **Tabela 4.** Área foliar (AF), taxa de alongamento do colmo (TAC) e taxa de senescência foliar (TSF) do milho em três sistemas de cultivo, na presença e ausência de cobertura vegetal, aos 60 dias após o primeiro e segundo cortes, respectivamente

Tratamentos	AF	TAC	TSF
Cobertura	60 dias após o 1º corte		
Presença	101,30±13,09	1,17±0,44	0,05±0,08
Ausência	90,30±13,49	1,46±0,31	0,04±0,09
p-valor	0,44	0,86	0,19
Sistema de cultivo			
Solteiro (Milheto)	93,00±16,14	1,03±0,39	0,05±0,11
Milheto + Caupi	92,51±10,81	1,30±0,38	0,04±0,10
Milheto + Guandu	101,88±11,21	1,15±0,38	0,04±0,11
p-valor	0,47	0,52	0,99
Cobertura	60 dias após o 2º corte		
Presença	85,58±50,61	0,24±0,50	0,05±0,04
Ausência	92,24±18,27	0,62±0,31	0,09±0,06
p-valor	0,73	0,46	0,22
Sistemas de cultivo			
Solteiro (Milheto)	73,88±28,25	0,28±0,65	0,06±0,04
Milheto + Caupi	94,21±25,15	0,14±0,24	0,06±0,05
Milheto + Guandu	98,63±44,83	0,87±0,33	0,09±0,06
p-valor	0,29	0,22	0,42

Médias ± desvio padrão seguidas da mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p<0,05$).

Discussão

Note-se que no primeiro ciclo as condições ambientais da área experimental foram mais severas do que no segundo e terceiro ciclos (Figura 3). Não houve registro de chuva neste período, além disso, a amplitude térmica diária foi elevada, assim como as máximas e mínimas de umidade relativa do ar. Estas condições somadas aos elevados níveis de radiação solar global contribuíram para uma maior demanda de evapotranspiração. Já no segundo e

terceiro ciclos, a amplitude térmica, menor radiação e maior umidade relativa do ar contribuíram para diminuir a evapotranspiração potencial durante o crescimento do milho.

Características como área foliar, taxas de crescimento dos componentes morfológicos e rendimento de matéria seca da parte aérea são indicadores confiáveis das respostas do milho à tolerância ao déficit hídrico (Iwuala et al., 2020).

Portanto, o aparecimento de novas folhas em uma planta depende de fatores como disponibilidade de água, nutrientes e

4923

competitividade intra e interespecífica (Glaze-Corcoran et al., 2020). Desse modo, a associação entre competição por água e nutrientes, sombreamento pelas leguminosas e condições ambientais extremas, causou redução na TApF do milho aos 20 DAE, bem como o FIL (Tabela 1). Vale ressaltar, que além da competição com as leguminosas, houve uma amplitude térmica elevada no período de crescimento inicial do milho, sendo esta, uma condição de estresse severo para planta, resultando em alteração do filocrono (Xu et al., 2023).

Os resultados não significativos aos 40 dias após a emergência (Tabela 1), podem estar relacionados a fase fenológica do milho que, neste período, está iniciando sua fase reprodutiva, havendo alocação de recursos para a formação e enchimento de grãos, consequentemente, o surgimento e alongamento de folhas, tende a reduzir (Vieira Junior et al., 2023).

O resultado da TApF do milho solteiro aos 60 dias após a emergência (Tabela 1), pode estar relacionado ao microclima gerado pela presença de cobertura morta na área, melhorando as condições de abertura estomática e aparecimento de crescimento foliar (Feng et al., 2019; Zhang et al., 2019;).

Em relação ao efeito da cobertura morta aos 60 dias após a emergência no filocrono do milho (Tabela 1), pode-se afirmar que a cobertura morta promove alteração no microclima do cultivo, fornecendo condições ideais de cultivo na fase reprodutiva do milho. Portanto, a ausência de cobertura morta, junto às condições ambientais extremas do período formam as condições ideais para promover estresse severo no milho. Sob estresse, a planta tende a antecipar seu ciclo produtivo, o que explica o menor filocrono nesta fase (Feng et al., 2019; Zhang et al., 2019).

A competição pela luz promove o alongamento do caule (Taiz et al., 2017), porém, os resultados desta pesquisa demonstram que o milho não aumentou o caule devido à competição com leguminosas. Em todos os tratamentos, a taxa de senescência foliar foi inferior às taxas de alongamento e aparecimento de folhas, o que favorece o acúmulo de massa seca de forragem, proporcionando melhor qualidade (Costa et al., 2018).

Por ser uma espécie que apresenta alta eficiência no uso de água e radiação (Chisi et al., 2018), o milho consegue manter suas taxas de crescimento e absorção de água mesmo sob condições ambientais severas e, portanto, a

cobertura morta pode não ter influenciado suas respostas de maneira direta.

O segundo ciclo de cultivo caracterizou-se como um período intermediário com condições ambientais mais amenas que o primeiro ciclo (Figura 3). Nessa época as plantas recebiam água via irrigação e chuva, pois a partir de 40 dias após o corte iniciava-se o período chuvoso. A soma da irrigação (280 mm) e da pluviosidade (123,2 mm) culminou em 403,2 mm, profundidade semelhante à aplicada apenas por irrigação, no primeiro ciclo. No segundo ciclo as leguminosas já estavam estabelecidas, pois o corte só foi realizado no milho.

Como a área recebeu a mesma quantidade de água do ciclo anterior, apesar das leguminosas já estarem estabelecidas, a rebrota do milho não foi prejudicada pela competitividade entre as espécies em sistemas consorciados. Este resultado mostra que as condições meteorológicas desempenham um papel fundamental nas respostas do milho, uma vez que, no segundo ciclo, o seu crescimento foi menos impactado pelos sistemas consorciados. Outro fator importante é o intervalo de semeadura entre as espécies (Glaze-Corcoran et al., 2020), visto que as maiores alterações nas características estruturais ocorreram nas fases iniciais de crescimento do primeiro ciclo.

A ausência de diferimento nas fases mais avançadas de crescimento (Tabelas 2, 3 e 4) reforça o princípio de que no consórcio o milho é mais influenciado pela concorrência no início da fase de crescimento. Outro fator que tem um efeito substancial no sistema é o clima. Visto que é possível observar que o primeiro ciclo apresentou maiores variações no crescimento das plantas entre os tratamentos, em comparação aos demais períodos. Como as condições do solo, volume de água aplicada e quantidade de cobertura morta eram iguais, a maior variante externa foram as condições meteorológicas, que potencializaram os efeitos negativos da competição.

Considerando que o desempenho agrônomo do milho está totalmente relacionado com suas respostas morfofisiológicas, observar o comportamento do surgimento de folhas, bem como seu desenvolvimento ao longo do tempo em respostas às condições vigentes, é crucial para auxiliar as tomadas de decisão quanto ao manejo dos sistemas produtivos (Ochagavía et al., 2021). O ajuste fenológico da planta sob condições adversas, pode ser observado quando nota-se uma antecipação nos intervalos de surgimento de folhas, demonstrando aumento de vigor nas fases iniciais

de crescimento (Allier et al., 2020; Ochagavía et al., 2021).

Vale ressaltar, que além dos efeitos das condições ambientais, o milho também estava sujeito à competições interespecíficas com as leguminosas. Em relação ao efeito dos sistemas de cultivo, pode-se dizer que o feijão-guandu é a espécie que apresenta maior potencial competitivo, uma vez que, possui um sistema radicular bem desenvolvido e é utilizado até mesmo para melhorar solos em áreas degradadas, portanto, é potencialmente competitivo por água e nutrientes do solo (Fuller et al., 2019). Além disso, sua arquitetura promove maior sombreamento, tanto nas folhas jovens quanto nas mais velhas, reduzindo assim a radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo milho e promovendo menor área foliar (Tabela 3) (Gong et al., 2020; Liu et al., 2017). Apesar de tais condições, não foram observadas respostas significativas no crescimento, desenvolvimento e acúmulo de fitomassa do milho quando este foi cultivado com o feijão-guandu se comparados com o cultivo solteiro (Figura 8).

Estes resultados podem ser considerados promissores, uma vez que, o cultivo de ambas as espécies na mesma área pode gerar diversos benefícios ecossistêmicos, como a melhoria estrutural do solo, bem como maior eficiência de uso de água por ambas as espécies.

Dentre as vantagens do cultivo do feijão-guandu, destacam-se a fixação biológica do nitrogênio, reduzindo a necessidade do uso de fertilizantes industriais, com isso, reduzindo os custos de produção (Gwenambira-Mwika; Snapp & Chikowo, 2021). Além disso, do ponto de vista nutricional, o feijão-guandu possui altos teores de proteína, tanto nas folhas quanto nos grãos, tornando-se uma excelente fonte nutricional, tanto para consumo humano, quanto animal (Fuller et al., 2019; Gargi et al., 2022). O crescimento inicial do feijão-guandu é lento, o que o torna apropriado para consórcios com gramíneas como o milho, de rápido crescimento inicial (Gargi et al., 2022; Gwenambira-Mwika et al., 2021;).

De modo semelhante, o cultivo em consórcio do milho com o feijão-caupi não demonstrou resultados negativos nesta pesquisa, mostrando-se como um sistema produtivo que pode ser cultivado em regiões de baixa disponibilidade hídrica. O feijão-caupi é uma leguminosa africana que possui boa adaptabilidade em solos de baixa fertilidade, ambientes com altas temperaturas e outras diversidades de cultivo (Santos et al., 2023). Dentre as principais qualidades desta espécie,

destaca-se o alto teor de proteína, ideal para a alimentação humana e animal.

O feijão-caupi é considerado moderadamente tolerante ao déficit hídrico e, portanto, é muito cultivado em regiões semiáridas. Essa tolerância se dá, diversas características fenológicas, fisiológicas e estruturais da planta. Dentre elas, destaca-se a antecipação do ciclo reprodutivo, com o florescimento ocorrendo precocemente (Fatokun et al., 2012; Santos et al., 2023). Além disso, a planta mantém sua turgescência mesmo sob condições de déficit hídrico devido ao fechamento estomático, paraheliotropismo e à alta condutividade hidráulica das raízes (Carvalho et al., 2019; Santos et al., 2023).

Através de ajustes nos arranjos espaciais de cultivo é possível maximizar os benefícios do consórcio entre gramíneas e leguminosas, uma vez que, as interações competitivas e o potencial de complementaridade entre as espécies determinam o desempenho das culturas consorciadas (Yin et al., 2020).

Além do milho, o cultivo em consórcio com leguminosas minimiza os efeitos dos estresses abióticos causados pelas condições ambientais severas. Em situações de recursos hídricos limitados, o cultivo de duas espécies na mesma área (gramínea/leguminosa) melhora o desempenho das culturas (Chamkhi et al., 2022; Yin et al., 2020). Isto porque, quando as culturas são complementares em padrões de crescimento temporal, estrutura da parte aérea, enraizamento e dinâmica de aquisição de recursos, o cultivo consorciado permite a utilização eficiente dos recursos disponíveis (Chamki et al., 2022).

Gong et al. (2020) avaliando diferentes arranjos de consórcio de milho e feijão mungo, encontraram IAF superiores aos desta pesquisa, mesmo em cultivo solteiro (Figura 7). Rostamza et al. (2011) também encontraram resultados superiores mesmo sem irrigação e adubação nitrogenada, mostrando que nas condições aqui impostas, o milho não apresentou bons resultados de IAF, devido aos estresses associados aos quais a cultura foi submetida, notadamente térmicos e luminosos.

Os resultados desta pesquisa foram semelhantes aos de Senghor et al. (2023), que não observaram diferenças significativas no IAF do milho, quando este foi consorciado com o feijão-caupi. No entanto, os rendimentos do milho foram maiores no sistema de consórcio, indicando vantagem para este sistema de produção em relação ao solteiro.

O IAF tem relação direta com a produção de fitomassa do povoamento, onde o maior IAF indica maior acúmulo de fitomassa total de milho. Conforme observado na Figura 3, não houve diferença na produção de fitomassa seca total entre os ciclos de produção, evidenciando a adaptabilidade do milho às adversidades edafoclimáticas e de cultivo.

Isto indica que a competição interespecífica das culturas pelos recursos naturais (nutrientes, água, CO₂, radiação) não provocou uma redução na produção de massa seca da cultura principal (milho). Além disso, a forragem produzida nos consórcios permite maior diversificação e redução de custos com dieta animal, devido ao maior aporte de proteína bruta proveniente de leguminosas, com redução na utilização de insumos, como concentrados.

Resultados semelhantes, demonstram que produtores da região do Sahel possuem preferências de cultivo utilizando a associação entre gramíneas e leguminosas, principalmente, consórcio de milho e feijão-caupi. Esta preferência está associada a diversos fatores, dentre eles, adaptabilidade das duas culturas no sistema de consórcio, qualidade nutricional e vantagens socioeconômicas (Moussa et al., 2021).

Os resultados do acúmulo total de fitomassa seca do milho no primeiro ciclo indicam que apesar da alta demanda atmosférica devido às características ambientais extremas (Figura 2), o milho foi persistente nessas condições semiáridas, mesmo em parcelas sem cobertura morta, evidenciando seu xerofitismo (Ullah et al., 2017).

Nelson et al. (2018) constataram redução na produtividade do milho consorciado com feijão-caupi devido à competição por luz, uma vez que a maior parte de suas folhas estava sombreada pela leguminosa, além de diminuição do sistema radicular, uma vez que o feijão-caupi já estava bem estabelecido, quando o milho foi semeado. Essa redução não foi observada na presente pesquisa, apesar das alterações nas características e nos morfogenéticos, o que mostra o benefício dos sistemas consorciados considerando a introdução da leguminosa após o estabelecimento do milho.

Diversos estudos já demonstraram que o a adição de cobertura morta no solo tem potencial para mitigar a evaporação de água no solo, bem como, suprimir a proliferação de ervas daninhas e reduzir os impactos erosivos da chuva, da irrigação e do vento (Li et al., 2022; Liu et al., 2022). Outro ponto importante é os benefícios para a qualidade do solo que a cobertura pode proporcionar. O fornecimento de C e N através da decomposição da

palha contribui substancialmente para aumentar os níveis de matéria orgânica no solo, consequentemente, contribuindo para o desenvolvimento da sua microbiota (Chahal et al., 2020; Lee et al., 2022; Wang et al., 2024).

Dentre os diversos benefícios do uso de cobertura morta em cultivos de regiões semiáridas, um dos principais é a contribuição desta para o aumento da qualidade do solo. Isto ocorre devido às melhorias na microbiota e armazenamento de água, que influenciarão diretamente na estrutura do solo, diminuindo sua degradação (Zhang et al., 2024).

Apesar dos benefícios, observou-se nesta pesquisa que o uso da cobertura morta não proporcionou aumento da produção de fitomassa do milho. Este resultado pode estar relacionado a necessidade de um período prolongado para decomposição microbiana da palha, onde haverá o fornecimento de nutrientes que serão assimilados pelo milho (Razanamalala et al., 2018; Wang et al., 2024).

Conclusões

O uso de cobertura morta não influencia as características estruturais e o acúmulo de fitomassa do milho, porém novas pesquisas devem ser realizadas considerando uma maior duração da cobertura do solo.

O consórcio entre milho e leguminosas (feijão-caupi e feijão-caupi) promove redução nas características morfogenéticas do milho, mas não promoveu redução no acúmulo de fitomassa seca total, mostrando-se uma estratégia de convivência com o semiárido.

A associação entre cobertura morta e milho consorciado com feijão-caupi e feijão-guandu não mostrou efeitos significativos neste ensaio. Porém, ressalta-se a importância de novos estudos que considerem outros fatores como duração do experimento, condições meteorológicas, fatores biológicos do solo, material e tempo de decomposição da palha para consolidar a eficácia e melhor adaptar essas práticas ao ambiente.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Ao Observatório Nacional da Dinâmica da Água e do Carbono no Bioma Caatinga (ONDACBC).

Ao Instituto Agrônomo de Pernambuco (IPA).

Referências

- Aguiar, P., H., D., S., & Lima, R., A. (2023). Fabaceae: importância ecológica do feijão guandu (*Canajus cajan* L.). *Educamazônia-Educação, Sociedade e Meio Ambiente*, 16(1), 172-180.
- Ali, A. B., & Shukla, M. (2024). Assessment of soil organic and inorganic carbon stocks in arid and semi-arid rangelands of southeastern New Mexico. *Ecological Indicators*, 166, 112398. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112398>.
- Allier, A., Teyssèdre, S., Lehermeier, C., Moreau, L., & Charcosset, A., (2020). Optimized breeding strategies to harness genetic resources with different performance levels. *BMC genomics*, 21, 1-16. <https://doi.org/10.1186/s12864-020-6756-0>.
- Al-Qthanin, R. N., AbdAlghafar, I. M., Mahmoud, D. S., Fikry, A. M., AlEnezi, N. A., Elesawi, I. E., ... & El-Tarabily, K. A. (2024). Impact of rice straw mulching on water consumption and productivity of orange trees [*Citrus sinensis* (L.) Osbeck]. *Agricultural Water Management*, 298. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2024.108862>.
- Alvares, C., A., Stape, J., L., Sentelhas, P., C., Gonçalves, J., L., M. & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711-728. doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507.
- Alves, H., K., M., N., Jardim, A., M., D., R., F., Júnior, G., D., N., A., Souza, C., A., A., Leite, R., M., C., Silva, G., I., N., ... & Silva, T. G. F. (2022). Uma abordagem sobre práticas agrícolas resilientes para maximização sustentável dos sistemas de produção no Semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(1), 373-392. [10.26848/rbgf.v15.1.p373-392](https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p373-392).
- Ameer, I., Kubar, K., A., Ali, Q., Ali, S., Khan, T., Shahzad, K., ... & Talpur, K. H. (2023). Land degradation resistance potential of a dry, semiarid region in relation to soil organic carbon stocks, carbon management index, and soil aggregate stability. *Land Degradation & Development*, 34(3), 624-636. doi.org/10.1002/ldr.4480.
- Araújo Junior, G., N., Jardim, A., M., R., F., Silva, M., J., Alves, C., P., Souza, C., A., A., Costa, S., A., T., ... & Silva, T., G., F. (2021). Growth dynamics and accumulation of forage mass of forage cactus clones as affected by meteorological variables and water regime. *European Journal of Agronomy*, 131, 126375. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126375>.
- Araújo Júnior, G., D., N., Morais, J., E., F., Neto, A., J., S., Souza, L., S., B., Alves, C., P., Silva, G., Í., N., ... & Silva, T., G., F. (2023). Use of intercropping and mulch to improve the water and natural resources use efficiencies of forage cactus and millet production in a semiarid region. *Field Crops Research*, 304, 109171. doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109171.
- Barbosa, I. J., Sousa, H. C., Schneider, F., Sousa, G. G. D., Lessa, C. I., & Sanó, L., (2021). Cobertura morta com bagaço de cana e palha de bambu atenua o estresse salino no cultivo do feijão-caupi. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 25, 485-491. <https://doi.org/10.1590/18071929/agriambi.v25n7p485-491>.
- Bertolino, K. M., Duarte, G. R. B., Valadares, G. M. P., & Botrel, É. P. (2021a). Desempenho de crotalaria consorciada com milho na produção de biomassa. *ForScience*, 9(1), e00895-e00895. doi.org/10.29069/forscience.2021v9n1.e895.
- Bertolino, K. M., Duarte, G. R. B., Valadares, G. M. P., Botrel, É. P., & Martins, F. A. D. (2021b). Produção de biomassa e cobertura do solo pelo consórcio de crotalaria e milho e sua influência em propriedades físicas dos solos. *ForScience*, 9(2), e00931-e00931. doi.org/10.29069/forscience.2021v9n2.e931.
- Bezerra, R. C. A., Santos, A. R. M., Cordeiro, L. R. B. A., Souza, J. C. G., Nascimento, D. B., Nogueira, J. C., ... & Leite, M. L. D. M. V. (2022). Indicadores de eficiência biológica e habilidade competitiva em sistemas consorciados de plantas forrageiras xerófilas: uma revisão. *Research, Society and Development*, 11(15), e258111537107e258111537107. <https://doi.org/10.33448/rsd.11i15.37107>.
- Cardoso, M. J., Melo, F. D. B., & Ribeiro, V. Q. (2024). Rendimento de grãos da linhagem de feijão-caupi MNC06-895E-1 sob diferentes densidades de plantas no consórcio com o milho. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, Embrapa Meio Norte, ISSN 2966-3679.
- Carvalho, A. A., Montenegro, A. A. D. A., SILVA, L., Costa, R. S., & Almeida, G. C. (2021). Análise do crescimento fisiológico do sorgo irrigado com água residuária tratado associado com cobertura morta. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, 14(5), 4258-4270. [10.7127/rbai.v14n501212](https://doi.org/10.7127/rbai.v14n501212).
- Carvalho, M., Castro, I., Moutinho-Pereira, J., Correia, C., Egea-Cortines, M., Matos, M., ...

- & Lino-Neto, T. (2019). Evaluating stress responses in cowpea under drought stress. *Journal of Plant Physiology*, 241, 153001.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2019.153001>
- Chamkhi, I., Cheto, S., Geistlinger, J., Zeroual, Y., Kouisni, L., Bargaz, A., & Ghoulam, C. (2022). Legume-based intercropping systems promote beneficial rhizobacterial community and crop yield under stressing conditions. *Industrial Crops and Products*, 183, 114958.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.114958>
- Chahal, I., Vyn, R. J., Mayers, D., & Van Eerd, L. L. (2020). Cumulative impact of cover crops on soil carbon sequestration and profitability in a temperate humid climate. *Scientific Reports*, 10(1), 13381.
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-70224-6>
- Chisi, M., Peterson, G., Taylor, J. R. N. & Duodu, K. G. (2018). Breeding and Agronomy, in: *Sorghum and Millets* (Second Edition), AACC International Press, 23-50.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811527-5.00002-2>
- Có, E. G., Sousa, G. G., Gomes, S. P., Costa Freire, M. H., & Silva, F. D. B. (2023). Estratégias de irrigação com água salina e adubação nitrogenada na cultura do milho. *Revista Caatinga*, 36(2), 424-431.
doi.org/10.1590/1983-21252023v36n219rc
- Costa, N. L., Jank, L., Fogaça, F. H. S., Magalhães, J. A., Bendhan, A. B., Santos, F. J. S. & Rodrigues, B. H. N. (2018). Rendimento de forragem, composição química e morfogênese de *Megathyrsus maximus* cv. Tanzânia-1 sob frequências de desfolhação. *Pubvet*, 12, 1-7.
doi.org/10.22256/pubvet.v12n4a68.1-7
- Costa, N. R., Crusciol, C. A., Trivelin, P. C., Pariz, C. M., Costa, C., Castilhos, A. M., ... & Mariano, E. (2021). Recovery of 15N fertilizer in intercropped maize, grass and legume and residual effect in black oat under tropical conditions. *Agriculture, ecosystems & environment*, 310, 107226.
[10.1016/j.agee.2020.107226](https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.107226)
- Dantas, S. M., de Paulo Rodrigues, V., da Silva Neves, R., Barbosa, R. R., & Matsunaga, W. K. (2021). Análise bromatológica do feijão guandu cultivado no semiárido para produção de forragens em diferentes tratamentos. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 15(3), 381-390.
- Danquah, E. O., Frimpong, F., Yeboah, S., Tetteh, E. N., Weebadde, C., Ennin, S. A., ... & Snapp, S. (2022). Pigeonpea (*Cajanus cajan*) and white yam (*Dioscorea rotundata*) cropping system: Improved resource use and productivity in Ghana. *Annals of Agricultural Sciences*, 67(1), 60-71. doi.org/10.1016/j.aos.2022.05.001
- Demambro, E., Pietrafesa, P. A., & Rojas, G. V. G. (2021). A expansão do cultivo de soja e os impactos ambientais no vale do araguaia, entre 2000 e 2019. *South American Development Society Journal*, 7(20), 83.
<https://doi.org/10.24325/issn.2446-5763.v7i20p-83-108>
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, (2013). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (3 ed., 353 p). Brasília: Embrapa Solos.
- Fatokun, C. A., Boukar, O., & Muranaka, S, (2012). Evaluation of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) germplasm lines for tolerance to drought. *Plant genetic resources*, 10(3), 171-176.
<https://doi.org/10.1017/S1479262112000214>
- Feng, Y., Hao, W., Gao, L., Li, H., Gong, D. & Cui, N. (2019). Comparison of maize water consumption at different scales between mulched and non-mulched croplands. *Agricultural Water Management*, 216, 315–324. doi.org/10.1016/j.agwat.2019.02.016
- Fuller, D. Q., Murphy, C., Kingwell-Banham, E., Castillo, C. C. & Naik, S., (2019). *Cajanus cajan* (L.) Millsp. origens e domesticação: a evidência arqueobotânica do Sul e Sudeste Asiático. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 66 (6), 1175-1188.
<https://doi.org/10.1007/s10722-019-00774-w>
- Gargi, B., Semwal, P., Jameel Pasha, S. B., Singh, P., Painuli, S., Thapliyal, A., & Cruz-Martins, N. (2022). Revisiting the Nutritional, Chemical and Biological Potential of *Cajanus cajan* (L.) Millsp. *Molecules*, 27(20), 6877.
<https://doi.org/10.3390/molecules27206877>
- Glaze-Corcoran, S., Hashemi, M., Sadeghpour, A., Jahanzad, E., Afshar, R.K., Liu, X. & Herbert, S.J. (2020). Understanding intercropping to improve agricultural resiliency and environmental sustainability. *Advances in Agronomy*, 162, 199-256.
doi.org/10.1016/bs.agron.2020.02.004
- Goes, G. F., Sousa, G. G., Lessa, C. I. N., Silva, F. D. B., Lacerda, C. F., & Silva, R. N. (2021). Uso de cobertura morta e água salina na produtividade da cultura do milho. *Irriga*, 1(4), 730-738.
<https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n4p730-738>

- Gong, X., Ferdinand, U., Dang, K., Li, J., Chen, G., Luo, Y., Pu, Y., & Feng, B. (2020). Boosting proso millet yield by altering canopy light distribution in proso millet/mung bean intercropping systems. *The Crop Journal*, 8, 365-377. /doi.org/10.1016/j.cj.2019.09.009.
- Goa, Y., Mohammed, H., Worku, W., & Urage, E. (2022). Genotype by environment interaction and yield stability of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) genotypes in moisture limited areas of Southern Ethiopia. *Heliyon*, 8(3).
https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09013.
- Guarnaccia, P., Timpanaro, G., Incardona, S., Foti, V. T., & Cammarata, M. (2024). Innovation in crop rotations for sustainable integrated crop-livestock systems: The case of a typical semi-arid Mediterranean area. *Cleaner Environmental Systems*, 13, 100182. doi.org/10.1016/j.cesys.2024.100182.
- Gwenambira-Mwika, C. P., Snapp, S. S., & Chikowo, R., (2021). Broadening farmer options through legume rotational and intercrop diversity in maize-based cropping systems of central Malawi. *Field Crops Research*, 270, 108225. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108225.
- Han, X., Wei, Z., Zhang, B., Li, Y., Du, T., & Chen, H. (2021). Crop evapotranspiration prediction by considering dynamic change of crop coefficient and the precipitation effect in back-propagation neural network model. *Journal of Hydrology*, 596, 126104. Disponível: doi.org/10.1016/j.jhydrol.2021.126104.
- Harouna, D. V., Venkataramana, P. B., Ndakidemi, P. A. & Matemu, A. O. (2018). Under-exploited wild Vigna species potentials in human and animal nutrition: A review. *Global Food Security*, 18, 1-11. doi.org/10.1016/j.gfs.2018.06.002.
- Hassan, H. H., El-sobky, E. S. E., Mansour, E., El-Kholy, A. S., Ullah, H., & Datta, A. (2022). Influência da cultura anterior e do sistema de preparo do solo no rendimento e qualidade da forragem de gramíneas e leguminosas selecionadas em condições áridas. *Revista de Agricultura Integrativa*, 21 (11), 3329-3344. https://doi.org/10.1016/j.jia.2022.08.088.
- Hoque, M. A., Gathala, M. K., Timsina, J., Ziauddin, M. A., Hossain, M., & Krupnik, T. J. (2023). Reduced tillage and crop diversification can improve productivity and profitability of rice-based rotations of the Eastern Gangetic Plains. *Field Crops Research*, 291, 108791. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108791.
- Huang, M. T., & Zhai, P. M. (2023). Desertification dynamics in China's drylands under climate change. *Advances in Climate Change Research*, 14(3), 429-436. doi.org/10.1016/j.accre.2023.05.001.
- Iwuala, E. N., Odjegba, V. J., Sharma, V., & Alam, A. (2020). Highlights of strategies adapted by two *Pennisetum glaucum* (L.) R. Br. Races in a simulated drought stress experiment. *Plant gene*, 23, 100238. https://doi.org/10.1016/j.plgene.2020.100238.
- Kader, M. A., Singha, A., Begum, M. A., Jewel, A., Khan, F. H., & Khan, N. I. (2019). Mulching as water-saving technique in dryland agriculture. *Bulletin of the National Research Centre*, 43(1), 1-6. https://doi.org/10.1186/s42269-019-0186-7.
- Kamdi, P. J., Swain, D. K., & Wani, S. P. (2024). Improving grain quality and nitrogen use efficiency of cereal-based cropping systems on vertisols in semi-arid tropics. *Field Crops Research*, 307, 109258. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109258.
- Kooch, Y., Heidari, F., Haghverdi, K., Gómez-Brandón, M., & Kartalaei, Z. M. (2024). The type of land cover and management affect differently soil functional indicators in a semi-arid ecosystem. *Applied Soil Ecology*, 202, 105553. doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105553.
- Leite, M. L. M. V., Lucena, L. R. R., Cruz, M. G., Sá Júnior, E. H. Simões, V. J. L. P. (2019). Leaf area estimate of *Pennisetum glaucum* by linear dimensions. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, 41, 1-7. doi.org/10.4025/actascianims.v41i1.42808.
- Lemos, J. D. J. S. (2020). Vulnerabilidades induzidas no semiárido brasileiro. *DRd-Desenvolvimento Regional em debate*, 10, 245-268. https://doi.org/10.24302/drd.v10i0.2728
- Lee, J. G., Chae, H. G., Kim, G. W., Kim, P. J., & Cho, S. R. (2022). Cover cropping and its biomass incorporation: Not enough to compensate the negative impact of plastic film mulching on global warming. *Science of the Total Environment*, 807, 151015. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151015
- Li, Y., Feng, H., Wu, W., Jiang, Y., Sun, J., Zhang, Y., ... & Chen, J. (2022). Decreased greenhouse gas intensity of winter wheat production under plastic film mulching in semi-arid areas. *Agricultural Water Management*, 274, 4929

107941.
<https://doi.org/10.1016/j.agwat.2022.107941>.
- Lima, C. A. D., Montenegro, A. A. D. A., Lima, J. L. D., Almeida, T. A. B., & Santos, J. C. N. D. (2020). Uso de coberturas alternativas do solo para o controle das perdas de solo em regiões semiáridas. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 25(3), 531-542.
<https://doi.org/10.1590/S14134152202019390>.
- Liu, X., Rahman, T., Song, C., Su, B., Yang, F., Yong, T., Wu, Y., Zhang, C. & Yang, W. (2017). Changes in light environment, morphology, growth and yield of soybean in maize–soybean intercropping systems. *Field Crops Research*, 200, 38-46.
doi.org/10.1016/j.fcr.2016.10.003.
- Liu, Y., Yang, C., Fu, X., Zhao, F., & Wang, J. (2024). Mulching drive changes in soil microbial community assembly processes and networks across aggregate fractions. *European Journal of Soil Biology*, 122, 103664.
<https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2024.103664>.
- Liu, Z., Wang, B., Li, Z., Huang, F., Zhao, C., Zhang, P., & Jia, Z. (2022). Plastic film mulch combined with adding biochar improved soil carbon budget, carbon footprint, and maize yield in a rainfed region. *Field Crops Research*, 284, 108574.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108574>.
- Luna, I. R. G., Silva, M. R., Almeida, C. P. H., Gonzaga, K. S., Alves, A. K. S., Oliveira Santos, J. P., ... & Araújo, J. R. E. S. (2021). Variabilidade pluviométrica e seus efeitos na produção de feijão-caupi em um município do semiárido paraibano. *Revista Thêma et Scientia*, 11(1), 255-265.
<https://ojsrevistas.fag.edu.br/index.php/RTES/article/view/1112/115>.
- Lv, Q., Chi, B., He, N., Zhang, D., Dai, J., Zhang, Y., & Dong, H. (2023). Cotton-based rotation, intercropping, and alternate intercropping increase yields by improving root–shoot relations. *Agronomy*, 13(2), 413.
<https://doi.org/10.3390/agronomy13020413>.
- Medeiros, A. S., Cesário, F. V., & Maia, S. M. F. (2023). Long-term impact of conventional management on soil carbon and nitrogen stocks in the semi-arid region of Brazil: A meta-analysis. *Journal of Arid Environments*, 218, 105052.
- Milhorance, C., Mendes, P., Mesquita, P., Morimura, M., Reis, R., Rodrigues Filho, S., & Bursztyn, M. (2019). O desafio da integração de políticas públicas para a adaptação às mudanças climáticas no semiárido brasileiro. *Revista Brasileira de Climatologia*.
<https://hal.science/hal-03714744/document>.
- Morris S. J. & Blackwood C. B. (2024). The ecology of soil biota and their function In *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*, p. 275-302.
doi.org/10.1016/B978-0-12-822941-5.00010-7.
- Moussa, H., Kindomihou, V., Houehanou, T. D., Chaibou, M., Souleymane, O., Soumana, I., ... & Sinsin, B. (2021). Farmers' perceptions of fodder performances of pearl millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br) accessions in Niger. *Heliyon*, 7(9).
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07965>.
- Murali, M., Singh, S. B., Gowtham, H. G., Shilpa, N., Prasad, M., Aiyaz, M., & Amruthesh, K. N. (2021). Induction of drought tolerance in *Pennisetum glaucum* by ACC deaminase producing PGPR-Bacillus amyloliquefaciens through Antioxidant defense system. *Microbiological Research*, 253, 126891.
doi.org/10.1016/j.micres.2021.126891.
- Murga-Orrillo, H., Araújo, W. F., Rocha, P. R. R., Sakazaki, R. T., Dionisio, L. F. S., & Polovargas, A. R. (2016). Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi cultivado em solo do cerrado submetido à cobertura morta. *Irriga*, 21(1), 172-172.
doi.org/10.15809/irriga.2016v21n1p172-187.
- Nascimento, R. M., Viana, A. E. S., Cardoso, A. D., Oliveira, L. M., & Viana, B. A. R. (2021). Produtividade de raízes e características agrônômicas da mandioca em consórcio com guandu, feijão caupi e sorgo, na região Sudoeste da Bahia. *Brazilian Journal of Development*, 7(12), 114491-121682.
[10.34117/bjdv7n12-773](https://doi.org/10.34117/bjdv7n12-773).
- Nelson, W. C. D., Hoffmann, M. P., Vadez, V., Roetter, R. P. & Whitbread, A. M. (2018). Testing pearl millet and cowpea intercropping systems under high temperatures. *Field Crops Research*, 217, 150-166.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.12.014>.
- Ochagavía, H., Prieto, P., Savin, R., & Slafer, G. A. (2021). Developmental patterns and rates of organogenesis across modern and well-adapted wheat cultivars. *European Journal of Agronomy*, 126, 126280.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2021.126280>.
- Odebiri, O., Mutanga, O., Odindi, J., Slotow, R., Mafongoya, P., Lottering, R., ... & Mngadi, M. (2024). Mapping sub-surface distribution of

- soil organic carbon stocks in South Africa's arid and semi-arid landscapes: Implications for land management and climate change mitigation. *Geoderma Regional*, e00817. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2024.e00817>
- Oliveira Filho, J. S., Vieira, J. N., Silva, E. M. R., Oliveira, J. G. B., Pereira, M. G. & Brasileiro, F. G. (2019). Assessing the effects of 17 years of grazing exclusion in degraded semi-arid soils: Evaluation of soil fertility, nutrients pools and stoichiometry. *Journal of Arid Environments*, 166, 1-10. doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.03.006.
- Oliveira, G.S., Sousa, G. G., de Araujo Viana, T. V., Pereira, M. J. L., Leite, K. N., de Sousa, L. V., ... & de Oliveira Santos, S. (2024). Desempenho agrônômico da cultura do sorgo sob estresse salino em solo com cobertura morta vegetal. *Revista Caatinga*, 37, e12484-e12484. doi.org/10.1590/1983-21252024v37i12484rc.
- Pacheco, R. F., Brondani, I. L., Borchate, D., Marini, A. P. M., Moura, A. F., Rodrigues, L. S., Silva, M. A., Mayer, A. R. & Alves Filho, D. C. (2019). Morfogênese de pastagens de milheto e capim sudão submetidas ao pastejo contínuo. *Boletim de Indústria Animal*, 76, 1-7. doi.org/10.17523/bia.2019.v76.e1440.
- Pereira Filho, J. M., Silva, A. M. D. A & Cézar, M. F. (2013). Manejo da Caatinga para produção de caprinos e ovinos. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, 14(1). [dx.doi.org/10.1590/S1519-99402013000100010](https://doi.org/10.1590/S1519-99402013000100010).
- Pereira, O. G., Rovetta, R., Ribeiro, K. G., Santos, M. E. R., Fonseca, D. M. & Cecon, P. R. (2011). Características morfológicas e estruturais do capim-tifton 85 sob doses de nitrogênio e alturas de corte. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40(9), 1870–1878. [dx.doi.org/10.1590/S1516-35982011000900005](https://doi.org/10.1590/S1516-35982011000900005).
- Pereira, R. C. G., Costa, S. A. T., Nascimento Araújo, G., Júnior, L. S. B. D. S., Pinheiro, A. G., Moraes, J. E. F., ... & Silva, T. G. F. (2023). Modelo de Simulação AquaCrop na Determinação do Yield Gap do Milheto e do Sorgo Forrageiro em Ambiente Semiárido: Uma Revisão Bibliográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(6), 3225-3245. <https://pdfs.semanticscholar.org/45cd/4c9d70da78001d93e0abbbc7346f3c30d669.pdf>
- Pinheiro, S. S., Cardoso, L. de M., Anunciação, P. C., de Menezes, C. B., Queiroz, V. A. V., Martino, H. S. D., Della Lucia, C. M., & Pinheiro Sant'Ana, H. M. (2021). Water stress increased the flavonoid content in tannin-free sorghum grains. *Journal of Food Composition and Analysis*, 100, 103892. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103892>
- Rashid, M., Noreen, S., Shah, K. H., Gaafar, A. R. Z., & Waqar, R. (2024). Morphological and biochemical variations caused by salinity stress in some varieties of Pennisetum glaucum L. *Journal of King Saud University-Science*, 36(1), 102994. <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2023.102994>.
- Razanamalala, K., Razafimbelo, T., Maron, P. A., Ranjard, L., Chemidlin, N., Lelièvre, M., ... & Bernard, L. (2018). Soil microbial diversity drives the priming effect along climate gradients: a case study in Madagascar. *The ISME Journal*, 12(2), 451-462. <https://doi.org/10.1038/ismej.2017.178>.
- R Core Team. R: A language and environment for statistical computing, (2022). R foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rocha, J. V. V., Vieira, V. D. C. B., & da Silva, A. J. (2022). Análise espaço-temporal da expansão do cultivo da Soja em Uruçuí-Piauí. *Research, Society and Development*, 11(6), e37411629174-e37411629174
- Rostamza, M., Chaichi, M., Jahansou, M. & Alimadadi, A. (2011). Forage quality, water use and nitrogen utilization efficiencies of pearl millet (*Pennisetum americanum* L.) grown under different soil moisture and nitrogen levels. *Agricultural Water Management*, 98, 1607–1614.: [10.1016/j.agwat.2011.05.014](https://doi.org/10.1016/j.agwat.2011.05.014).
- Sabino, F. C., Souza, L. S. B., Souza, M. A. G., Barros, J. P. A., Lucena, L. R. R., Jardim, A. M. R. F., & Silva, T. G. F. (2021). Morphological characteristics, biomass accumulation and gas exchange of an importante species native for restoration in Semiarid Brazilian areas affected by salt and water stress. *Plant Stress*, 2, 100021. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100021>
- Sadeghian, N., Vaezi, A. R., Majnooniheris, A., & Cerdà, A. (2021). Soil physical degradation and rill detachment by raindrop impact in semi-arid region. *Catena*, 207, 105603. Disponível: doi.org/10.1016/j.catena.2021.105603.
- Sampaio, P. R. F., Júnior, J. S., Portela, J. C., & Da Silva, J. F. (2020). Áreas agrícolas sujeitas à desertificação no Rio Grande do Norte e medidas mitigadoras: o caso dos assentamentos Milagres e Terra da

- Esperança. *HOLOS*, 36(7), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2021.100021>
- Santos, A. R. M., Bezerra, R. C. A., Cordeiro, L. R. B. A., Leite, M. L. D. M. V., da Silva Salvador, K. R., de Costa Sousa, L. D., ... & da Silva, T. G. F. (2023). Valor nutritivo de plantas forrageiras cultivadas no semiárido brasileiro: Uma revisão. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16(3), 1466-1489. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1466-1489>
- Santos, M. P., Cogo, A. J. D., & Aragão, F. J. (2023). Variabilities in water deficit tolerance among cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.) genotypes. *South African Journal of Botany*, 163, 552-560. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2023.11.015>.
- Santos, T. V. A., Edson-Chaves, B. & Oliveira, F. M. C. (2021). Xerofitismo e suculência. *Revista de Ciência Elementar*, 9(2). <http://doi.org/10.24927/rce2021.043>
- Satyavathi, C. T., Ambawat, S., Khandelwal, V., & Srivastava, R. K. (2021). Pearl millet: a climate-resilient nutricereal for mitigating hidden hunger and provide nutritional security. *Frontiers in Plant Science*, 12, 659938. doi.org/10.3389/fpls.2021.659938.
- Senghor, Y., Manga, A. G., Affholder, F., Letourmy, P., Bassene, C., Kanfany, G., ... & Falconnier, G. N. (2023). Intercropping millet with low-density cowpea improves millet productivity for low and medium N input in semi-arid central Senegal. *Heliyon*, 9(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17680>.
- Shanker, A. K., Amirineni, S., Bhanu, D., Yadav, S. K., Jyothilakshmi, N., Vanaja, M., ... & Singh, V. K. (2022). High-resolution dissection of photosystem II electron transport reveals differential response to water deficit and heat stress in isolation and combination in pearl millet [*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.]. *Frontiers in Plant Science*, 13, 892676. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.892676>
- Shanker, A. K., Kumari, V. V., Jyothilaksmi, N., Rao, M. S., Girijaveni, V., Singh, V. K., ... & Singh, T. (2024). Zinc Nano and Zinc Ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) Mediated Water Deficit Stress Alleviation in Pearl Millet (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.): Photosystem II Electron Transport and Pigment Dynamics. *Plant Stress*, 100651. doi.org/10.1016/j.stress.2024.100651
- Shrestha, N., Hu, H., Shrestha, K., & Doust, A. N. (2023). Pearl millet response to drought: A review. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1059574. doi.org/10.3389/fpls.2023.1059574.
- Sine, B., Ndiaye, A., Kanfany, G., Grondin, A., Ndiaye, A., Faye, A., ... & Laplaze, L. (2024). Physiological and Molecular Bases of Drought and Heat Tolerance in Pearl Millet. In *Pearl Millet in the 21st Century: Food-Nutrition-Climate resilience-Improved livelihoods* (pp. 247-278). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-5890-0_10
- Singhal, T., Satyavathi, C. T., Singh, S. P., Mallik, M., Sankar, S. M., & Bharadwaj, C. (2022). Mapping and identification of quantitative trait loci controlling test weight and seed yield of pearl millet in multi agro-climatic zones of India. *Field Crops Research*, 288, 108701. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2022.108701>.
- Soares, L. A. A., Medeiros, T. L. F., Colman, V. C. G., de Sousa Palmeira, I. V., da Silva, I. J. & Moreira, R. C. L. (2021). Estratégias de irrigação com déficit hídrico nos estádios fenológicos do feijão-caupi sob adubação potássica. *Irriga*, 26(1), 111-122. <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v26n1p111-122>.
- Sousa, C. E. S., Júnior, F. P. A., Silva Cardoso, A., Ruggieri, A. C., van Cleef, F. D. O. S., Pádua, F. T. & Carvalho Almeida, J. C. (2024). Effects of integrating legumes or trees on soil C stock and organic matter dynamics in tropical grasslands. *Applied Soil Ecology*, 202, 105560. Doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105560.
- Souza, P. H. G., Silva, E. M., Oliveira, A. M., Jesus, J. S., Barbosa, E. A., Neves, J. M. G., ... & Camelo, G. N. (2023). Rendimento econômico de consórcio irrigado de quiabo e feijão-caupi. *Recital-Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG*, 5(2), 29-43. <https://doi.org/10.46636/recital.v5i2.32229>.
- Souza, T., Souto, L. S., Dutra Filho, J. D. A., Santos, C. S. D. A., Silva, L. D. A., Peixoto, T. D. & Sá, F. V. D. S. (2024). Crescimento e produção do feijão-caupi sob estresse hídrico e cobertura de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 28, e271643. Doi.org/10.1590/18071929/agriambi.v28n3e271643.
- Sow, S., Senghor, Y., Sadio, K., Vezy, R., Rouspard, O., Affholder, F., ... & Falconnier, G. N. (2024). Calibrating the STICS soil-crop model to explore the impact of agroforestry parklands on millet growth. *Field Crops Research*, 306, 109206. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2023.109206>.

- Vieira Junior, N., Carcedo, A. J. P., Min, D., Diatta, A. A., Araya, A., Prasad, P. V., ... & Ciampitti, I. (2023). Management adaptations for water-limited pearl millet systems in Senegal. *Agricultural Water Management*, 278, 108173. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2023.108173>.
- Taiz L., Zeiger E., Møller I.M. & Murphy A. (2017). *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. Artmed Editora.
- Team Core R (2017). *A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna: Austria.
- Ullah, A., Ahmad, A., Khaliq, T. & Akhtar, J. (2017). Recognizing production options for pearl millet in Pakistan under changing climate scenarios. *Journal of Integrative Agriculture*, 16, 762–773. [doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61450-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61450-8).
- Xu, H., Ming, B., Wang, K., Xue, J., Hou, P., Li, S., & Xie, R. (2023). Quantitative analysis of maize leaf collar appearance rates. *Plant Physiology and Biochemistry*, 196, 454-462. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2023.01.016>.
- Yin, W., Chai, Q., Zhao, C., Yu, A., Fan, Z., Hu, F., ... & Coulter, J. A. (2020). Water utilization in intercropping: A review. *Agricultural Water Management*, 241, 106335. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106335>.
- Wang, J., Shi, X., Zheng, C., Suter, H., & Huang, Z. (2021). Different responses of soil bacterial and fungal communities to nitrogen deposition in a subtropical forest. *Science of the Total Environment*, 755, 142449. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142449>.
- Wang, Y., Tian, Z., Li, X., Zhang, M., Fang, Y., Xiang, Y., ... & Zhang, P. (2024). Straw-derived biochar regulates soil enzyme activities, reduces greenhouse gas emissions, and enhances carbon accumulation in farmland under mulching. *Field Crops Research*, 317, 109547. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2024.109547>.
- Wang, Y. H., Zhao, B. Y., Ye, X., Du, J., Song, J. L., Wang, W. J., ... & Zhong, T. X. (2024). Genome-wide analysis of the AP2/ERF gene family in *Pennisetum glaucum* and the negative role of PgRAV_01 in drought tolerance. *Plant Physiology and Biochemistry*, 216, 109112. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.109112>.
- Zhang, L., Pei, N., Wu, F., Wu, N., Li, Z., Huang, Y., ... & Yang, Y. (2024). Short-term response of soil fungal community composition and trophic mode to winter mulch management in Lei bamboo (*Phyllostachys praecox*) forests. *Applied Soil Ecology*, 201, 105526. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2024.105526>.
- Zhang, Z., Christensen, M., Nam, Z., Whish, J.P.M., Bell, L.W., Wang, J., Wang, Z. & Sim, R. (2019). Plant development and solar radiation interception of four annual forage plants in response to sowing date in a semi-arid environment. *Industrial Crops & Products*, 131, 41–53. doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.028.