

Avaliação econômica do cultivo de pimenteira-do-reino irrigada no nordeste paraense: *gliricida sepium* como redutor de demanda hídrica

Economic evaluation of irrigated black pepper cultivation in northeast of para: *gliricida sepium* as a water demand reducer

Evaluación económica del cultivo de pimienta de reino de regadío en el noreste de pará: el *gliricida sepium* como reductor de la demanda de el agua

DOI: 10.54033/cadpedv21n7-104

Originals received: 05/31/2024

Acceptance for publication: 06/21/2024

João Paulo Castanheira Lima Both

Doutor em Agronomia

Instituição: Embrapa Amazônia Oriental

Endereço: Belém, Pará, Brasil

E-mail: joao.both@embrapa.br

Oriel Filgueira de Lemos

Doutor em Genética e Melhoramento de Plantas

Instituição: Embrapa Amazônia Oriental

Endereço: Belém, Pará, Brasil

E-mail: oriel.lemos@embrapa.br

Moisés Cordeiro Mourão

Doutor em Géographie et Aménagement Urbain

Instituição: Embrapa Amazônia Oriental

Endereço: Belém, Pará, Brasil

E-mail: moises.mourao@embrapa.br

Helane Cristina Aguiar Santos

Doutora em Agronomia

Instituição: Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA)

Endereço: Belém, Pará, Brasil

E-mail: aguiar.helane@gmail.com

Joaquim Alves de Lima Junior

Doutor em Engenharia Agrícola

Instituição: Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

Endereço: Capanema, Pará, Brasil

E-mail: joaquim.junior@ufra.edu.br

Albene Liz Carvalho Monteiro Both

Mestre em Agronomia

Instituição: Secretaria de Educação do Estado do Pará (SEDUC)

Endereço: Belém, Pará, Brasil

E-mail: albene.both@seduc.pa.gov.br

Valdeides Marques Lima

Doutor em Agronomia

Instituição: Instituto Federal do Pará (IFPA)

Endereço: Belém, Pará, Brasil

E-mail: valdeides.lima@ifpa.edu.br

RESUMO

O estudo teve por objetivo determinar a viabilidade econômica e os indicadores técnicos para o cultivo da pimenteira-do-reino em tutor vivo (*Gliricidia sepium* L.) nos sistemas de irrigação para melhor aproveitamento da água e benefício à cultura. O sistema de irrigação foi instalado em fileiras duplas de plantio de pimenteiras-do-reino. Essa situação é idêntica tanto em tutor vivo quanto em tutor morto (estação de madeira). Os diferentes sistemas de manejo hídrico estão dispostos nas fileiras duplas de plantio sob combinações entre (i) tutores: Estação (EST) e *G. sepium* L. (GLI); e (ii) linhas de irrigação: uma linha (1L), duas linhas (2L), totalizando quatro combinações entre os dois fatores. Ao ter sido avaliada a demanda de irrigação (meses de julho a dezembro de 2022) nos diferentes sistemas de cultivos de pimenteira-do-reino (estação e tutor vivo) uma menor demanda hídrica (~1.057 → ~381 horas de irrigação) foi assinalada no caso dos sistemas que utilizam gliricídia com tutor, em especial o sistema com irrigação com 2/L. O menor custo de implantação utilizando-se gliricídia como tutor vivo, assegura recursos financeiros para a adoção de irrigação, devido a acentuada redução de custos de operação obtida a partir da combinação *Gliricidia sepium* em duas linhas de irrigação, no qual se atingiu um custo anual por hectare em torno de R\$ 1.413,50 reais, apresentando um valor de R\$ 93,50 reais maior (~7%) do que salário mínimo ha/ano, vigente em maio de 2023. Os resultados desse estudo demonstram evidente contribuição do uso de gliricídia na circularidade econômica da cadeia produtiva da pimenta-do-reino.

Palavras-chave: *Piper nigrum*. Produção. Irrigação. Tutor Vivo.

ABSTRACT

The study aimed to determine the economic viability and technical indicators for the cultivation of black pepper on living stalks (*Gliricidia sepium* L.) in irrigation systems for better use of water and benefit to the crop. The irrigation system was installed in double rows of black pepper plantations. This situation is identical for both a living guardian and a dead guardian (wooden station). The different water management systems are arranged in double planting rows under combinations between (i) guardians: Estação (EST) and *G. sepium* L. (GLI); and (ii) irrigation lines: one line (1L), two lines (2L), totaling four combinations between the two factors. When the irrigation demand was evaluated (months from July to

December 2022) in the different black pepper cultivation systems (station and live tutor) a lower water demand ($\sim 1,057 \rightarrow \sim 381$ hours of irrigation) was noted in the case of systems that use gliricidia with tutor, especially the system with 2/L irrigation. The lower implementation cost using gliricidia as a living tutor, ensures financial resources for the adoption of irrigation, due to the marked reduction in operating costs obtained from the combination of *Gliricidia sepium* in two irrigation lines, in which an annual cost was reached per hectare around R\$ 1,413.50 reais, representing a value of R\$ 93.50 reais higher ($\sim 7\%$) than the minimum wage ha/year, in force in May 2023. The results of this study demonstrate an evident contribution of use of gliricidia in the economic circularity of the black pepper production chain.

Keywords: *Piper nigrum*. Production. Irrigation. Living Tutor.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo determinar la viabilidad económica e indicadores técnicos del cultivo de pimienta negra en tallos vivos (*Gliricidia sepium* L.) en sistemas de riego para un mejor aprovechamiento del agua y beneficio al cultivo. El sistema de riego se instaló en dobles hileras de plantaciones de pimienta negra. Esta situación es idéntica tanto para un guardián vivo como para un guardián muerto (estación de madera). Los diferentes sistemas de manejo de agua están dispuestos en dobles hileras de siembra bajo combinaciones entre (i) guardianes: Estação (EST) y *G. sepium* L. (GLI); y (ii) líneas de riego: una línea (1L), dos líneas (2L), totalizando cuatro combinaciones entre los dos factores. Al evaluar la demanda de riego (meses de julio a diciembre de 2022) en los diferentes sistemas de cultivo de pimienta negra (estación y tutor vivo) se notó una menor demanda de agua ($\sim 1,057 \rightarrow \sim 381$ horas de riego) en el caso de los sistemas que utilizan gliricidia con tutor, especialmente el sistema con riego 2/L. El menor costo de implementación utilizando gliricidia como tutor vivo, asegura recursos financieros para la adopción del riego, debido a la marcada reducción de costos de operación obtenida de la combinación de *Gliricidia sepium* en dos líneas de riego, en las cuales se alcanzó un costo anual por hectárea de alrededor R\$ 1.413,50 reales, lo que representa un valor de R\$ 93,50 reales superior ($\sim 7\%$) al salario mínimo ha/año, vigente en mayo de 2023. Los resultados de este estudio demuestran una evidente contribución del uso de gliricidia en la circularidad económica de la cadena productiva de la pimienta negra.

Palabras clave: *Piper Nigrum*. Producción. Irrigación. Tutor Vivo.

1 INTRODUÇÃO

A pimenteira-do-reino é uma das plantas condimentares mais valorizadas do mundo, com grande valor econômico, permitindo que a atividade

desenvolvida pelos pipericultores seja altamente rentável. Nas últimas décadas, a cultura da pimenta-do-reino tem recebido um manejo convencional, desenvolvido a partir de práticas culturais aplicadas de maneira uniforme, pautadas em médias e na homogeneidade dos fatores de produção em todo o campo. Porém, o desconhecimento pontual desses fatores pode proporcionar metas impróprias de produtividade e resultar no uso excessivo de insumos, tornando a produção ineficiente com altos custos e danos ambientais.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de pimenta-do-reino. O Estado do Pará, ocupava até 2017, a posição de primeiro produtor nacional de pimenta-do-reino, seguido pelos estados do Espírito Santo (no Sudeste) e Bahia (no Nordeste), possuindo também a maior área plantada e direcionando a linha de tendência de produção desta espécie no país (Silva *et al.*, 2017).

Em se tratando do sistema de produção do cultivo da pimenteira-do-reino a Embrapa Amazônia Oriental tem se empenhado no sentido de promover pesquisas relacionadas ao uso da gliricídia como tutor vivo na produção de pimenta-do-reino no Estado do Pará, a exemplos de experimentos relativos ao manejo adequado das plantas de gliricídia, o uso de cultivares mais adaptadas e mais produtivas para esse tipo de tutor, dentre outros aspectos (Both *et al.*, 2022). Da mesma forma, tem sido identificada a necessidade de ajustes nos aspectos de produção por meio da avaliação da adoção da tecnologia quanto a sistemas de nutrição específicos para o sistema de produção de pimenteira-do-reino irrigada, bem como a implantação de sistema de irrigação em áreas com déficit hídrico, principalmente no primeiro ano de cultivo (Lemos; Both, 2022).

Sabe-se que a gliricídia é uma leguminosa que se propaga por estacas, podendo alcançar até 12 metros de altura com 30 centímetros de diâmetro. Entretanto, sem o manejo adequado do sistema de produção da pimenta-do-reino em gliricídia, tem sido observada redução na produtividade na ordem de 20% a 30% (Menezes *et al.*, 2013).

Apesar da irrigação ser considerada tecnologia bastante prática (Pereira *et al.*, 2016; Macedo *et al.*, 2010), de serem conhecidos o momento certo, a quantidade de água a ser aplicada na irrigação (Marouelli *et al.*, 2011), os mecanismos para medição da umidade do solo e a faixa para registro de

condições ótimas (Coelho; Simões, 2015) para diversas espécies, o estudo aprofundado da irrigação e a determinação da viabilidade econômica desta técnica é fundamental visto que a agricultura irrigada representa importante custo adicional à produção, exige alto investimento em obras e aquisição de insumos e equipamentos para captação, condução, controle e distribuição da água, devendo ser considerados ainda gastos com energia e mão-de-obra para operação e manejo do sistema (Villas Boas *et al.*, 2011; Lima Junior *et al.*, 2011).

A insuficiência de estudos relacionados ao cultivo de pimenteira-do-reino irrigada no Estado do Pará e a adoção de recomendações direcionadas à outras regiões do Brasil com condições agroclimáticas totalmente distintas do Estado do Pará favorecem o manejo inadequado da irrigação ou a adoção de sistemas de irrigação inviáveis, nos aspectos econômico e produtivo, acarretando o aumento de custos de produção, elevando os riscos de salinização do solo e o desperdício de insumos (Lemos; Both, 2022).

Neste contexto, este estudo teve por objetivo determinar a viabilidade econômica e os indicadores técnicos para o cultivo da pimenteira-do-reino em tutor vivo (*Gliricidia sepium* L.) nos sistemas de irrigação para melhor aproveitamento da água e benefício à cultura, a partir da adoção das tecnologias de manejo de irrigação.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 UNIDADE EXPERIMENTAL E LOCAL DE IMPLANTAÇÃO

O experimento de campo, foi desenvolvido no município de Castanhal, Estado do Pará, em área total de, aproximadamente, 2 hectares implantada na empresa TROPOC (Produtos Tropicais de Castanhal Ltda.), situada a 74,6 Km da capital Belém, à Rodovia BR 316, na Zona Rural, a 40 metros de altitude. considerando as condições climáticas da região (Cidade-Brasil, 2022), a 01° 15' 50" S e 47° 55' 20" W. O clima da região, segundo Köppen, é do tipo Af, com precipitação média anual de 2.432 mm e temperatura média anual de 26,5°C (Alvares *et al.*, 2013). O local possui latossolo amarelo distrófico (Santos *et al.*,

2018), havendo também a predominância de vegetação secundária (capoeira), resultante da ação antrópica (Cardoso Júnior *et al.*, 2007).

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O modelo conceitual do experimento contempla os efeitos cultivares/clones, adubação e tipo de tutor, sendo implementado em um delineamento em blocos ao acaso sob estrutura fatorial.

Quanto ao efeito de cultivares/clones este foi constituído de 6 cultivares, com 3 repetições e cada repetição constituída de 3 fileiras duplas (blocos) no espaçamento de 2,20 x 2,20 m entre plantas e 4,00 m entre as fileiras, no total de 288 unidades amostrais por clone/cultivar, utilizando 2 tipos de tutores para suporte de crescimento/desenvolvimento: gliricídia (tutor vivo) e estação de madeira de lei (tutor morto) no estudo comparativo entre as cultivares de pimenteira-do-reino.

Os diferentes sistemas de manejo hídrico, constam das leiras de produção de pimenta-do-reino em fileiras duplas, sob as seguintes combinações entre: (i) tutores: Estação (EST) e *Gliricidia sepium* (GLI); e (ii) linhas de irrigação: uma linha (1L), duas linhas (2L), totalizando 4 combinações entre os 2 fatores.

2.3 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO

O sistema de irrigação (gotejamento) foi composto por um reservatório de 50 mil litros, com 5 caixas d'águas de 10 mil litros; uma bomba elétrica de 5 cv com vazão de $8,44 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ acionada por controlador e um filtro de disco. A automação consistiu em um programador de 24 voltz tempo/setor e uma caixa padrão com 5 solenoides. Foram usados 1.250 m de comando de polietileno linear 8 mm x 4 mm e conexões necessárias.

Além disso, para o manejo da irrigação e umidade do solo, foi utilizado o sistema de irrigação localizado por gotejamento subterrâneo com vazão de $3,55 \text{ l h}^{-1}$, e emissores espaçados 30 cm entre si (especificação/padrão da mangueira adquirida). As mangueiras gotejadoras foram enterradas à 10 cm de

profundidade, com tubos autocompensantes de emissor plano drip-tech PC/AS para a irrigação, com DN 16 mm, com pressão de serviço de 10 metros de coluna d'água (m.c.a) no final da mangueira. As mangueiras gotejadoras foram posicionadas dentro das parcelas, com uma linha e duas linhas por leiras em filas duplas de plantio.

Para definição do momento de irrigar, foram utilizados 32 tensiômetros instalados a 20 cm de profundidade nas unidades experimentais, e quando a média desses tensiômetros atingisse a tensão acima de 15 kPa, eram feitas aplicações de água nas unidades experimentais de cada tratamento (acionamento do sistema de irrigação), a fim de elevar a umidade do solo à condição de capacidade de campo, em igual ou menor a 15 quilopascal (kPa), o equivalente a $0,468\text{cm}^{-3}$. As leituras das tensões de água no solo foram realizadas diariamente entre 8 horas e 8:30 horas, uma vez ao dia, com um tensiômetro digital de punção e aplicadas, para correção delas, para a profundidade desejada de 20 cm. O sistema foi acionado após a realização das leituras matutinas.

Após a instalação do sistema de irrigação, foi realizada avaliação hidráulica para a determinação do desempenho, através do Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD). De posse das médias das lâminas coletadas foi calculado o CUD. O sistema apresentou classificação excelente, de 97%, segundo classificação de Mantovani (2001), a partir do cálculo da avaliação hidráulica para fins de determinação do desempenho, expresso na Equação 1.

Equação 1 – Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)

$$\text{CUD} = \frac{q_{25}}{q_m} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição (%); q_{25} – Média de 25 % das vazões com menores valores; q_m – Média de todas as vazões em L h⁻¹.

Para tensiômetros de punção, o valor de Ψ_m foi determinado pela Equação 2 (Franco, 2015).

Equação 2 – Cálculo do potencial matricial de água no solo (Ψ_m), em KPa.

$$\psi_m = -L + 0,098 * c \quad (2)$$

Onde:

Ψ_m – Potencial matricial de água no solo (kPa); L – Leitura do visor do aparelho (kPa); 0,098 – Fator de ajuste de unidades; c – Comprimento do tensiômetro (distância do meio da cápsula porosa até o centro do tubo de acrílico na parte superior do instrumento) (cm).

A lâmina líquida foi calculada a partir da Equação 3.

Equação 3 – Cálculo da lâmina líquida (LL) de irrigação, em mm.

$$LL = (\theta_c - \theta_{atual}) * Z \quad (3)$$

Onde:

LL – Lâmina líquida de irrigação (mm); θ_{cc} – Umidade do solo na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); θ_{atual} – Umidade do solo no momento de irrigar ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$); Z – Profundidade efetiva do sistema radicular (mm)

A partir de então, foi determinada a lâmina bruta, conforme a Equação 4.

Equação 4 – Cálculo da lâmina bruta (LB) de irrigação, em mm.

$$LB = \frac{LL}{(1 - k) * CUD} \quad (4)$$

Onde:

LB – Lâmina bruta de irrigação (mm); CUD – Coeficiente de uniformidade de distribuição (mm); k – Constante que considera a eficiência de aplicação de água (Equação 5).

A constante que considera a eficiência de aplicação de água, expressa por K, é calculada por meio da Equação 5.

Equação 5 – Eficiência de aplicação de água (K).

$$k = 1 - Ea \quad (5)$$

Onde:

Ea – Eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação por gotejamento (0,95)

E por fim, foi realizado o cálculo para determinar o tempo de funcionamento do sistema de irrigação (Equação 6).

Equação 6 – Tempo de funcionamento do sistema de irrigação (Ti)

$$Ti = \frac{LB * A}{e * qa} \quad (6)$$

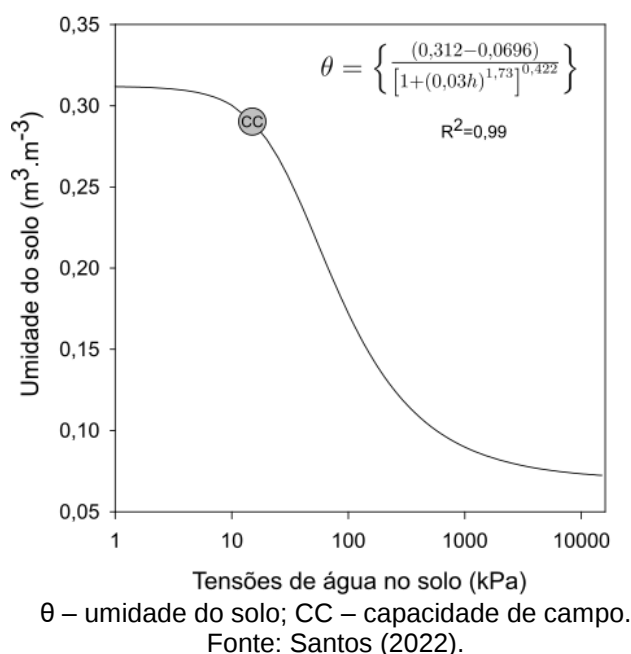
Onde:

Ti – Tempo de funcionamento do sistema (h); A – Área de ocupação por parcela (m²); e – Número de emissores por parcela (un); qa – Vazão média dos emissores (L h⁻¹)

As lâminas de água aplicadas na diferenciação dos tratamentos e o tempo de funcionamento do sistema de irrigação foram calculados segundo Franco (2015), considerando-se a profundidade efetiva do sistema radicular, igual a 20 cm, onde se concentram cerca de 80% das raízes da cultura (Marouelli, 2008).

O manejo da irrigação foi baseado na curva característica da água no solo obtida na camada de 0 a 20 cm de profundidade. Os resultados de retenção de água no solo foram obtidos por meio da câmara de pressão de Richards nos potenciais de 0, 6, 10, 30, 100, 500 e 1.500 kPa (Richards, 1941). Os dados obtidos foram ajustados através do modelo proposto por Van Genuchten (1980), com o auxílio do software R, obtiveram-se os parâmetros da equação de ajuste da curva característica de retenção de água no solo (Figura 1).

Figura 1 – Curva de retenção de água no solo para o manejo da irrigação.



2.4 MODELO ESTATÍSTICO

A fim de comparar a demanda hídrica nos plantios de pimenta, ao longo de um ciclo de produção foi adotado um modelo linear geral (GLM) (7) que contemple os efeitos de tipos de tutores e linhas de irrigação ao longo dos meses.

$$y_{ijklm} = \mu + M_i + T_j + I_k + (M*T)_{ij} + (M*I)_{ik} + (M*T*I)_{ijk} + e_{ijkl} \quad (7)$$

Onde:

μ – constante associada a todas as observações, tomada como média geral; M_i – efeito sazonal dos meses; T_j – efeito dos tipos de tutor; I_k – efeito das linhas de irrigação; as respectivas interações; e_{ijkl} – erro

O modelo foi verificado via ANOVA e testado por meio de F. Dada a significância do modelo, os valores médios foram desdobrados e testados com o teste de comparação múltipla de Tukey. Tanto em F, quanto nos contrastes de comparação múltipla adotou-se o nível de significância de 5%. As análises foram conduzidas com auxílio do software SISVAR 5.6 (Ferreira, 2019).

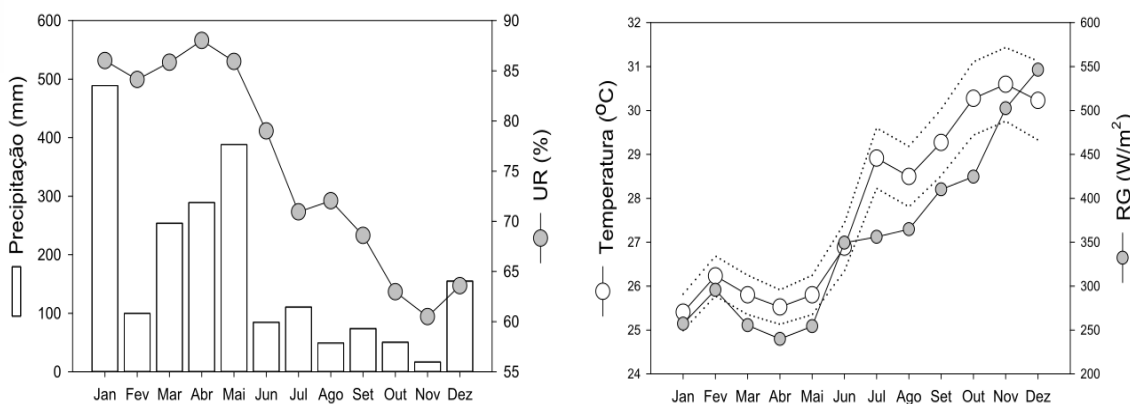
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PERÍODO CHUVOSO E MÉDIAS MENSAIS DE TEMPERATURA E UMIDADE EM 2022

Observou-se que, nos meses de junho a novembro de 2022, a precipitação ficou abaixo de 150 mm (estação automática INMET A202) (Figura 2), havendo necessidade de complemento de água para a cultura da pimenteira-do-reino que é exigente em bom suprimento de água, principalmente durante o florescimento e a frutificação, havendo assim a necessidade de manter o solo com adequada umidade para se evitar queda na produção.

No ano de 2022, de acordo com as médias mensais temperatura (T_m) (Figura 2), verificou-se que a média da temperatura mínima e máxima observada, dentro dos valores considerados ideais para o desenvolvimento e a produção da cultura da pimenteira-do-reino que, de acordo com Duarte *et al.* (2006), as temperaturas ótimas devem estar entre 23°C e 28°C. Verificou-se também uma radiação solar média de 355 W/m² com maiores radiações entre os meses de junho a dezembro. A média da umidade relativa do ar observada ficou em torno de 75,6%.

Figura 2 – Médias mensais de precipitação (PREC), temperatura (Tar), radiação global (RG) e umidade relativa (UR) do ano de 2022.



Fonte: Santos (2022), elaborado/adaptado BOTH (2024).

Duarte *et al.* (2006) asseguram que a umidade relativa do ar abaixo de 60% pode ser prejudicial à maioria das plantas, ao aumentar a taxa de transpiração. Da mesma forma, umidades relativas do ar acima de 90% também são prejudiciais pois reduzem a absorção de nutrientes, em razão do decréscimo da transpiração, além de favorecer a propagação de doenças fúngicas.

Quanto à precipitação ocorrida durante o ano de estudo, observou-se que esta foi da ordem de 2.061 mm, concentrada nos primeiros meses do ano – janeiro (489 mm), abril (289 mm) e maio (388 mm), enquanto as menores precipitações anuais foram registrada nos meses de agosto (49 mm), setembro (74 mm) e outubro (51 mm) e novembro (17 mm), conforme preconiza Santos (2022).

A água da chuva é elemento climático de fundamental importância para as plantas, ao desempenhar papel crucial na fotossíntese, sendo, portanto, essencial para o crescimento e a produção. Essa importância se torna ainda maior em regiões tropicais úmidas como a Amazônia, onde a chuva funciona como elemento regulador da agricultura, dada a disponibilidade de água durante o ano (Duarte, 2006).

Essa retirada de água do solo, devido às condições de déficit hídrico resultante da má distribuição das chuvas ao longo do ano, afeta diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas, necessitando a adoção de estratégias como a irrigação para suprir a demanda de água da planta (Oliveira; Oliveira, 2018).

3.2 MANEJO DA IRRIGAÇÃO A PARTIR DAS LEITURAS DA TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO

A partir das análises dos dados meteorológicos (Figura 2), percebe-se que nos meses de julho a novembro de 2022, os tratamentos submetidos à tensão crítica de 15 kPa foram irrigados, em razão do solo da área experimental apresentar baixa retenção de água, tendo sido atingida a tensão crítica em todos esses meses.

Avaliando-se os efeitos do modelo sobre o número de dias com demanda hídrica e o total de horas de irrigação foi possível assinalar os efeitos principais: mês, tutor e linha de irrigação em ambos os quesitos, como também a interação mês*tutor. O restante das interações foi assinalado como significativa somente no caso dos dias com demanda hídrica, excetuando-se a interação tutor*linhas (Tabela 1).

Tabela 1 – Análise de variância do modelo adotado.

Efeitos	g.l.	Dias				IRRI			
		SQ	QM	F		SQ	QM	F	
Mês	5	8.140,65	1.628,13	114,377	**	247.702,83	49.540,57	24,87	**
Tutor	1	888,17	888,17	62,394	**	61.257,90	61.257,90	30,75	**
Linhas	1	805,04	805,04	56,555	**	37.411,83	37.411,83	18,78	**
Mês*Tutor	5	771,77	154,35	10,843	**	34.692,22	6.938,44	3,48	**
Mês*Linhas	5	564,65	112,93	7,933	**	18.574,57	3.714,91	1,87	n.s.
Tutor*Linhas	1	73,50	73,50	5,163	*	8.023,53	8.023,53	4,03	*
Mês*Tutor*Linhas	5	389,56	77,91	5,473	**	16.789,44	3.357,89	1,69	n.s.
Erro	360	5.124,50	14,23			717.120,66	1.992,00		
Total	383	16.757,83				1.141.572,98			

Fonte: Both (2024).

Tomando-se os componentes de variância, a partir dos valores de QM, pode-se hierarquizar os efeitos sobre as variáveis consideradas. Sendo que, no caso dos dias com demanda de irrigação, o efeito mês de ~43% da variação global foi o mais influente, seguido pelos efeitos de tutor, com ~24% da variação global, e linhas de irrigação, com ~21% da variação global. Com relação ao total de horas de irrigação o efeito tutor com ~36% da variação global foi o mais influente, seguido pelo efeito sazonal dos meses, com ~29% da variação global, e pelo efeito das linhas de irrigação, com ~22% da variação global.

O manejo da irrigação na tensão de 15 kPa foi baseado nas recomendações da literatura para solos arenosos, entre 10 e 15 kPa, pois, para cada tipo de solo há um volume de reservatório de água disponível para as plantas (Zonta *et al.*, 2016; Bernardo *et al.*, 2019). Solos arenosos com macroporosidade elevada reterão pequena quantidade de água, implicando, portanto, na necessidade da realização de irrigações com maior frequência, entretanto, solos argilosos com microporosidade elevada deverão armazenar uma maior quantidade de água, implicando em maiores intervalos entre as irrigações (Saad; Libardi, 1994).

Barreto e Fernandes (2001) avaliaram a gliricídia e a leucena (*Leucaena leucocephala*) no sistema de alamedas em latossolo amarelo distrocoeso de Tabuleiros Costeiros, no município de Lagarto, estado de Sergipe, nos anos de 1994 a 1998, e concluíram que o aumento da porosidade total do solo se deu em virtude apenas do aumento da macroporosidade.

Considerando-se os efeitos principais, de um modo global (Tabela 2), tem-se que o mês SET ($14,83 \pm 6,19$; 3-27 dias) apresentou maior demanda por irrigação, seguidos dos meses JUL ($12,95 \pm 4,53$; 4-22 dias) e AGO ($12,48 \pm 7,49$; 1-27 dias), sendo esses muito próximos. Em um patamar intermediário, foram assinalados os meses OUT ($8,55 \pm 3,96$; 1-18 dias) e NOV ($6,97 \pm 1,98$; 3-11 dias). Enquanto a menor demanda foi registrada no mês DEZ ($1,09 \pm 1,48$; 0-5 dias). Com relação ao tutor, os maiores valores de dias com demanda de irrigação ocorreram em EST ($11 \pm 7,17$; 0-27 dias), quando comparado a GLI ($7,96 \pm 5,62$; 0-26 dias). Por outro lado, nas linhas de irrigação a maior demanda foi em 1L ($10,93 \pm 7,23$; 0-27 dias), quando comparada a 2L ($8,03 \pm 5,59$; 0-27 dias) (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores médios e desvio padrão do número de dias com demanda de irrigação (dias) em função do tutor e linhas de irrigação, ao longo dos meses avaliados.

Mês	Linhas	Tutor			G	
		EST		GLI		
JUL	1L	17,81±3,51	Aa	12,19±4,10	Ba	15,00±4,72 a
	2L	12,00±3,01	Aa	9,81±3,27	Bb	10,91±3,29 b
	G	14,91±4,37	A	11,00±3,84	B	12,95±4,53
AGO	1L	17,38±6,51	Aa	13,25±6,17	Ba	15,31±6,58 a
	2L	15,56±5,54	Aa	3,75±2,67	Bb	9,66±7,37 b
	G	16,47±6,02	A	8,50±6,72	B	12,48±7,49
SET	1L	18,13±4,86	Aa	17,50±5,22	Aa	17,81±4,97 a
	2L	15,5±6,09	Aa	8,19±2,56	Bb	11,84±5,91 b
	G	16,81±5,58	A	12,84±6,22	B	14,83±6,19
OUT	1L	10,19±4,86	Aa	7,81±4,74	Ba	9,00±4,87 a
	2L	9,31±2,85	Aa	6,88±2,13	Ba	8,09±2,76 a
	G	9,75±3,94	A	7,34±3,64	B	8,55±3,96
NOV	1L	8,00±2,07	Aa	6,56±1,86	Ba	7,28±2,07 a
	2L	7,25±1,81	Aa	6,06±1,77	Aa	6,66±1,86 a
	G	7,63±1,95	A	6,31±1,80	B	6,97±1,98
DEZ	1L	0,56±1,31	Ba	1,75±1,39	Aa	1,16±1,46 a
	2L	0,31±1,01	Ba	1,75±1,61	Aa	1,03±1,51 a
	G	0,44±1,16	B	1,75±1,48	A	1,09±1,48
Total		11,00±7,17		7,96±5,62		9,48±6,61

Letras maiúsculas, na horizontal, efeito de tutor; letras minúsculas, na vertical, efeito de linhas de irrigação. Valores precedidos de mesmas letras não diferem significativamente, segundo o teste de Tukey no nível de significância de 5%; EST – estação, GLI – *Gliricidia sepium*, 1L – uma linha de irrigação, 2L – duas linhas de irrigação.

Fonte: Both (2024).

Desdobrando-se os efeitos sobre o número de dias com demanda de irrigação (DDI) nos meses avaliados, tem-se que: em (a) JUL-AGO (meses com elevado nível déficit hídrico) o tutor GLI (04-13 DDI) apresentou menor demanda de irrigação, tanto em 1L, quanto em 2L, sendo registradas demandas equivalentes entre si (12-18 DDI).

Enquanto, no caso de EST, foi assinalada diferença entre as linhas de irrigação, em ambos os meses, 2L (12-16 DDI) apresentou um menor número de dias demanda de irrigação quando comparada a 1L (17-18 DDI). No mês SET (mês com o mais elevado déficit hídrico), distinções entre os tutores foram observadas somente em 2L, em que GLI (8 DDI) apresentou um valor de demanda por irrigação muito menor do que EST (16 DDI), as linhas de irrigação foram equivalentes ao tutor EST (16-18 DDI).

Nos meses de OUT-NOV (meses com déficit hídrico intermediário) a diferença entre os tutores foi assinalada somente em OUT, em que GLI (6-8 DDI)

apresentou menor demanda quando comparada a EST (7-10 DDI). No mês DEZ (mês com o menor déficit hídrico) foi assinalada diferença entre os tutores em ambas as linhas de irrigação, em que GLI (2 DDI) apresentou maior demanda quando comparada a EST (1 DDI).

Deste modo, tem-se uma diferença entre os tutores, com redução de demanda de dias com irrigação no tutor GLI nos meses de JUL-OUT (meses com déficit elevado ou muito elevado); equivalência entre os tutores no mês de NOV (final do ciclo de déficit intermediário) e maior demanda em GLI, em um limiar em torno de 2 DDI. As linhas de irrigação foram equivalentes, quando no sistema de tutor EST, ao longo de todos os meses avaliados, enquanto no caso do tutor GLI, diferenças entre as linhas de irrigação foram assinaladas somente nos meses de JUL-SET, em que 2L apresentou menor demanda por dias de irrigação, nos outros meses as linhas apresentaram equivalência.

A gliricídia tem suportado satisfatoriamente as condições críticas de umidade e temperatura do solo (região do nordeste brasileiro), produzindo boa quantidade de fitomassa para melhorar as condições físicas de solo degradado e conservar a umidade, amenizando a temperatura do solo (Lima Filho *et al.*, 2023).

Contrastando-se os efeitos com relação ao tempo de operação mensal com irrigação, foi possível verificar que no mês de JUL o tutor GLI (38-65 horas) teve menor requerimento de horas de operação de irrigação do que EST (61-74 horas) em ambas as linhas de irrigação. Já nos meses de AGO-OUT, a distinção entre os tutores foi assinalada somente nas linhas de irrigação 2L, em todos os meses o tutor GLI apresentou menor tempo de operação mensal com irrigação. Nos outros meses (NOV-DEZ) não houve diferença entre os tutores.

Com relação às linhas de irrigação, estas não apresentaram diferença em nenhum dos meses avaliados, quando situados em tutor EST. Já no caso do tutor GLI, diferenças entre as linhas de irrigação foram registradas nos meses de JUL-OUT e, em todos os casos, a linha 2L apresentou menor tempo de operação.

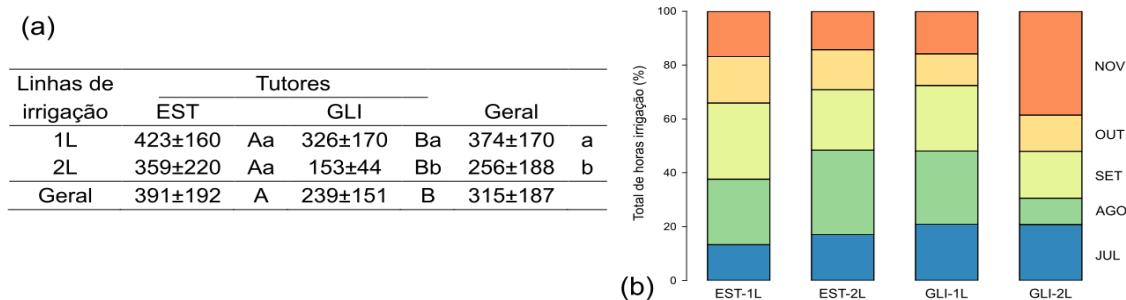
Deste modo, nota-se que a combinação GLI-2L apresentou menor tempo de operação mensal, especialmente nos meses com déficit hídrico muito elevado, elevado, intermediário (JUL-OUT). Nos meses com menores déficits

(NOV-DEZ) não foram assinaladas diferenças entre as combinações de tutores e linhas de irrigação, consequência da própria ausência de demanda hídrica.

Com relação ao efetivo número de horas de irrigação, tem-se que os meses: JUL-SET (59-80 horas de irrigação/mês) concentraram cerca de 68% do tempo de operação com irrigação de um modo global, enquanto os meses de OUT, NOV (48-49 horas de irrigação/mês) concentraram cerca de 31% do tempo de operação com irrigação e o mês DEZ (3 horas de irrigação/mês) concentrou cerca de 1% desse tempo global de operação com irrigação. Este padrão repete-se em todas as combinações de tutores e linhas irrigação, à exceção de GLI-2L que apresentou 54% do tempo de operação com irrigação em JUL-SET, 42% nos meses OUT-NOV e 4% no mês de DEZ (Figura 3 a,b).

O tempo efetivo de operação com irrigação foi inferior quando em tutor GLI (I.C.(95%): 186-292 horas), em relação ao tutor EST (I.C.(95%): 323-459 horas). Globalmente, as linhas de irrigação apresentaram distinções, sendo que 2L (I.C.(95%): 190-322 horas) apresentou ainda um menor tempo efetivo com irrigação, quando comparado a 1L (I.C.(95%): 315-434 horas) (Figura 3 a,b).

Figura 3 – (a) Tempo efetivo de operação com irrigação durante o ciclo de cultivo (média e desvio padrão); (b) fracionamento da demanda de irrigação nos meses avaliados.



(a) Letras maiúsculas, na horizontal, efeito de tutor; letras minúsculas, na vertical, efeito de linhas de irrigação. Valores precedidos de mesmas letras não diferem significativamente, segundo o teste de Tukey no nível de significância de 5%; (a, b) EST – estação, GLI – Gliricidia sepium, 1L – uma linha de irrigação, 2L – duas linhas de irrigação.

Fonte: Both (2024).

Avaliando-se a equivalência entre os tratamentos e tomando-se o tratamento menos demandante, e, em consequência, mais eficiente, GLI-2L tem-se que EST-1L apresentou uma demanda por água 2,8 vezes maior, enquanto EST-2L apresentou uma demanda por água 2 vezes maior do que GLI-2L. Por

outro lado, ao contrastar os tratamentos que utilizam *Gliricídia sepium* como tutor vivo, o GLI-1L apresentou uma equivalência em demanda de água 2,1 vezes maior do que GLI-2L.

É importante ressaltar que a gliricídia proporciona sombreamento parcial e é fornecedora de matéria orgânica, o que contribui para a diminuição da perda de água por evaporação e possibilita uma melhor absorção das partículas de água na região do sistema radicular. De acordo com Delfino *et al.* (2018) a gliricídia apresenta uma melhora nas características dos atributos químicos do solo, seja plantada solteira ou em sistema de plantio consorciado com outros componentes agronômicos, pois apresenta uma estabilidade de resistência (a capacidade de se manter estável diante do estresse) e a estabilidade de elasticidade (a capacidade de se recuperar rapidamente).

A gliricídia traz consigo ainda outras grandes vantagens, considerando sua alta capacidade de produção de biomassa rica em nutrientes para adubação orgânica, uma ótima cobertura e proteção do solo, a melhoria das condições físicas e biológicas do solo, sendo uma boa fixadora de nitrogênio e a manutenção da microfauna em profundidade (Barreto; Fernandes, 2001).

3.3 ANÁLISE ECONÔMICA E CUSTOS OPERACIONAIS DA IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DE PIMENTEIRA-DO-REINO EM TUTOR VIVO

Tomando-se custo de implantação, de 1 hectare (ha) para o cultivo de pimenteira-do-reino, comparou-se os custos utilizando o tutor vivo de gliricídia e o tutor de estação de madeira (tutor morto) (Tabela 3), no qual o espaçamento adotado entre plantas para os cálculos, foram os mesmos utilizados na unidade experimental, sendo em fileiras duplas em 2,20m X 2,20m X 4,00m, totalizando 1.466 plantas/ha. Os dados foram obtidos a partir dos coeficientes técnicos estabelecidos por Menezes *et al.*, (2013a; 2013b). Enquanto para o cultivo irrigado automatizado da pimenteira-do-reino em ambos os tutores, utilizou-se a mesma referência, adequando alguns componentes do custo de implantação para cada sistema, sendo sistema de irrigação automatizado – 1 (uma) linha de irrigação (1L-IRRI) e 2 linhas de irrigação (2L-IRRI).

Como pode-se observar (Tabela 3), o custo de implantação de 1 ha para cultivo de pimenteira-do-reino em tutor vivo de gliricídia foi de R\$ 32.038,50 reais, no qual se obteve uma economia de R\$ 27.275,00 reais em relação ao cultivo tradicional (tutor morto), chegando a um percentual de ~46% de economia.

Um componente fundamental para esta grande diferença dos custos de implantação, foi o elevado preço das estacas de madeiras praticados no município de Castanhal e na região Bragantina, atingindo um preço médio, entre os anos de 2021 e 2022, de R\$ 25,00 a unidade, ao passo que o tutor vivo de gliricídia foi encontrado ao valor máximo de R\$ 5,00 a unidade. Portanto, ao se adquirir 1.500 estações, a necessidade para 1 ha no espaçamento de fileiras duplas em 2,20m X 2,20m X 4,00m, se obteve um custo de R\$ 37.500,00 reais, ao passo que o custo para aquisição de estacas de gliricídias foi de apenas R\$ 8.065,00 (Tabela 3).

Tabela 3 – Custo médio para implantação de 01 hectare para cultivo de pimenteira-do-reino em tutor morto (estação) e tutor vivo de gliricídia.

Item	Discriminação	Tipo	Unidade	Quantidade		Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)	
				EST	GLI		EST	GLI
1.0	INSUMOS						53.003,50	23.568,50
1.1	Estação madeira de lei	mud	un.	1.500	-	25,00	37.500,00	-
1.2	Estacas de gliricídia (+10%)	mud	un.	-	1.613	5,00	-	8.065,00
1.3	Mudas (+10%)	mud	un.	1.613	1.613	6,50	10.484,50	10.484,50
1.4	Esterco de curral (cova)	ad-org	t	8,7	8,7	250,00	2.175,00	2.175,00
1.5	Adbos de plantio (cova)	ad-min	kg	224	224	7,50	1.680,00	1.680,00
1.6	Adbos de cobertura	ad-min	kg	155,2	155,2	7,50	1.164,00	1.164,00
2.0	SERVIÇOS						6.310,00	8.470,00
2.1	Enleiramento	mec-agr	HM/dia	7	7	150,00	1.050,00	1.050,00
2.2	Piqueteamento (marcação da área)	mo	diária	6	6	80,00	480,00	480,00
2.3	Abertura de covas e plantio (gliricídia)	mo	diária	-	8	80,00	-	640,00
2.4	Replante (10%)	mo	diária	-	2	80,00	-	160,00
2.5	Enterrio estação	mo	diária	8	-	80,00	640,00	-
2.6	Abertura de cova pimenta	mo	diária	8	8	80,00	640,00	640,00
2.7	Adubação de cova/plantio	mo	diária	3	3	80,00	240,00	240,00
2.8	Plantio das mudas de pimenta-do-reino	mo	diária	8	8	80,00	640,00	640,00
2.9	Replante (10%)	mo	diária	2	2	80,00	160,00	160,00
2.10	Cobertura das mudas (palha)	mo	diária	2	2	80,00	160,00	160,00
2.11	Coroamento	mo	diária	8	8	80,00	640,00	640,00
2.12	Rocagem da entrelinha	mec-agr	HM/dia	2	2	150,00	300,00	300,00
2.13	Adubação de cobertura	mo	diária	7	7	80,00	560,00	560,00
2.14	Amarrio das mudas	mo	diária	7	7	80,00	560,00	560,00
2.15	Poda da gliricídia e manejo da biomassa	mo	diária	-	25	80,00	-	2.000,00
2.16	Monitoramento de pragas e doenças	mo	diária	3	3	80,00	240,00	240,00
TOTAL							59.313,50	32.038,50

Onde: EST – estação; GLI – *Gliricidia sepium*; Tipo: mud – mudas; ad-org – adubação orgânica; ad-min – adubação mineral; mec-agr – mecanização agrícola; mo – mão de obra

Fonte: Both (2024).

Moraes *et al.* (2023) afirmam que, tradicionalmente, para o cultivo de pimenteira-do-reino, utiliza-se madeira de valor comercial como tutor, que

atendam a legislação ambiental, o que tem sido um problema para sua aquisição e que contribui decisivamente para a elevação do custo de implantação dos pimentais. Diante deste problema, os autores recomendam a adoção da tecnologia de cultivo da pimenteira-do-reino em tutor vivo, que acarretam na redução de aproximadamente 28% no custo para a implantação de 1 hectare, refletindo em economia comparativamente ao cultivo tradicional.

Estudos de Pavão (2022), da mesma forma, reforçam o evidente o impacto positivo no fluxo de caixa com a adoção da gliricídia como tutor vivo. Tal fato se deve ao preço pago pelas estacas da espécie, R\$ 5,00, equivalente a cerca de 20% do valor dos estações de madeira de lei, R\$ 25,00.

Tabela 4 – Custo médio para implantação de sistema de irrigação automatizado – 1 linha de irrigação (1L-IRRI) e 2 linhas de irrigação (2L-IRRI) – para cultivo de pimenteira-do-reino.

Item	Discriminação	Tipo	Unidade	Quantidade		Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)	
				1L	2L		1L	2L
3.0	MATERIAL SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO						12.823,08	13.742,28
3.1	Conj. Moto-bomba 5CV centrífuga	equip.	un.	1	1	4.955,00	4.955,00	4.955,00
3.2	Mangueira gotejadora 16mm – cap. até 2,3 Bar	mat-cons	m	1800	3500	0,45	810,00	1.575,00
3.3	Conector c/ chula inicial para mangueira got. de 16mm	mat-cons	un.	20	35	2,00	40,00	70,00
3.4	Conector Final de linha para mangueira got. de 16mm	mat-cons	un.	20	35	1,68	33,60	58,80
3.5	Tubos PVC azul, PN 40, DN 50mm	mat-cons	vara	18	18	46,90	844,20	844,20
3.6	Bucha De Reducao Para irrigação 75 X 50 mm	mat-cons	un.	1	1	32,00	32,00	32,00
3.7	Válvula Solenóide de 2 pol. registro elétrico água	mat-cons	un.	1	1	382,00	382,00	382,00
3.8	Adaptador LR Soldável 50mm X 1 1/2 Polegada	mat-cons	un.	2	2	12,80	25,60	25,60
3.9	Tee Irrigação Reducao 50mm X 3/4	mat-cons	un.	2	2	14,90	29,80	29,80
3.10	Manômetro glicerinado até 60mca	equip.	un.	2	2	92,90	185,80	185,80
3.11	Bucha De Redução - Macho 3/4 Bsp X Fêmea 1/2	mat-cons	un.	2	2	23,90	47,80	47,80
3.12	Válvula Eliminadora De Ar - Ventosa 3/4	mat-cons	un.	1	1	37,70	37,70	37,70
3.13	Curva 75mm 90° PVC Azul Irrigação	mat-cons	un.	5	5	37,00	185,00	185,00
3.14	Tubo Agro PN60 Irrigação Dn75 75mm	mat-cons	vara	9	9	109,00	981,00	981,00
3.15	Curva 90°, PVC azul, DN 50 mm	mat-cons	un.	2	2	37,00	74,00	74,00
3.16	Filtro de disco 2", 130 Microns, vazão de 50 m³.h⁻¹	mat-cons	un.	1	1	210,00	210,00	210,00
3.17	Niple de 3 pol. irrigação	mat-cons	un.	1	1	32,00	32,00	32,00
3.18	Redução concêntrica 2" para 75mm rosca interna	mat-cons	un.	2	2	59,90	119,80	119,80
3.19	Bucha Adaptador Soldável 75mm X 3"	mat-cons	un.	1	1	19,90	19,90	19,90
3.20	Redução Soldável Irrigação DN75x50mm	mat-cons	un.	4	4	12,23	48,92	48,92
3.21	Registro esfera soldável, DN 50 mm	mat-cons	un.	2	2	180,00	360,00	360,00
3.22	Microtubo Polietileno Automação Irrigação 8mm	mat-cons	m	70	125	1,80	126,00	225,00
3.23	Conector inicial p/ de microtubo 8mm	mat-cons	un.	4	4	13,99	55,96	55,96
3.24	Painel Kit Automação Irrig. - 1 controlador + 2 válvulas	equip.	un.	1	1	1.678,00	1.678,00	1.678,00
3.25	Broca serra copo com suporte 16	mat-cons	un.	1	1	60,00	60,00	60,00
3.26	Cabo pp 3x16mm	mat-cons	m	20	20	60,20	1.204,00	1.204,00
3.27	Cola para PVC, 800 g	mat-cons	un.	5	5	40,00	200,00	200,00
3.28	Fita alta fusão 19x10m	mat-cons	un.	1	1	20,00	20,00	20,00
3.29	Fita veda rosca 18x50m	mat-cons	un.	5	5	5,00	25,00	25,00
4.0	SERVIÇOS SISTEMA DE IRRIGAÇÃO						2.782,78	3.282,78
4.1	2% do orçamento para conexões eventuais	serv.	%	1	1	282,78	282,78	282,78
4.2	Elaboração do projeto	serv.	ha	1	1	1.000,00	1.000,00	1.000,00
4.3	Materialização do projeto	serv.	ha	-	-	-	1.500,00	2.000,00
	TOTAL						15.605,86	17.025,06

Onde: 1L – uma linha de irrigação; 2L – duas linhas de irrigação; Tipo: equip. – equipamento; mat-cons - material de consumo; serv. - serviços

Fonte: Both (2024).

Observando os custos dos sistemas de irrigação (Tabela 4), verificamos que o sistema de irrigação 2L chega a ser ~10% mais caro que o sistema de

irrigação com 1L, porém, a eficiência com uso da água e custo operacional (consumo de energia) é compensatório, como podemos verificar na Tabela 4.

Tomando-se o cultivo irrigado para 1 ha, o consumo de energia elétrica, tem-se que GLI-2L teve o menor consumo, de ~1.430 kW, enquanto que os sistemas GLI-1L (~3.052 kW) e EST-2L (~3.363 kW) situaram-se em um patamar intermediário para alto de consumo de energia. Enquanto o tratamento EST-1L (~3.958 kW) foi o que apresentou o maior consumo (Tabela 4).

Adotando-se valores atualizados de custo tarifária de energia, o sistema GLI-2L teve custo de operação de cerca de R\$ 1.413,50 enquanto os tratamentos (GLI-1L e EST-2L) tiveram um custo de operação entre R\$ 3.017,00 a 3.324,00. Já o sistema EST-1L teve um custo operacional de cerca de R\$ 3.912,00 (Tabela 5).

Tabela 5 – Síntese dos parâmetros de demanda hídrica e consumo de energia (1ha).

Tutor	Linhas	Custo (ha) Implantação	Total água (l)	Total Irrigação (h)	Consumo (kW)	Custo (R\$) #
EST	SIR	59.313,50				
	1L	32.038,50	1.250.636,15	1.056,88	3.957,99	3.912,24
	2L	74.919,36	1.062.506,29	897,89	3.362,60	3.323,73
GLI	SIR	32.038,50				
	1L	47.644,36	964.531,33	815,10	3.052,53	3.017,25
	2L	49.063,56	451.856,12	381,85	1.430,02	1.413,50

EST – estação; GLI – *Gliricídia sepium* L.; SIR – sem irrigação; 1L – uma linha de irrigação; 2L – duas linhas de irrigação.

Fonte: Both, 2023; ANEEL (2022), # Valor do kWh tarifa verde no período irrigado (R\$ 0,988441).

Os preços correspondentes de cada componente do custo de produção foram obtidos por meio de levantamento de campo, sendo atualizados pelo Índice Geral de Preços – Disponibilidade Interna (IGP-DI) da Fundação Getúlio Vargas (FGV). A partir daí, obteve-se os valores do quanto se economizou com a introdução do tutor vivo de gliricídia comparativamente ao cultivo tradicional (estação tutor morto).

Adotando-se o número de plantas no experimento e corrigindo a demanda hídrica referente ao período (150 dias) tem-se: EST-1L (11,37 litros/planta/dia), EST-2L (9,66 litros/planta/dia); GLI-1L (8,77 litros/planta/dia); GLI-2L (4,11 litros/planta/dia). Deste modo, mesmo ao tratar-se de uma condição

consorciada, a demanda hídrica da pimenteira-do-reino, quando cultivada junto a *Gliricidia sepium* foi muito menor. Na condição mais ecoeficiente, foi possível assinalar uma demanda na ordem de 4 litros de água/planta/dia, o que é bastante promissor quando comparado a outras culturas e não somente perenes. Estudos semelhantes demonstram que plantas submetidas a tensão de 15 kPa foram submetidas as menores lâminas de água por aplicação, fornecendo 4,3 litros de água planta⁻¹ dia⁻¹ (Santos, 2022).

Pesquisas anteriores de Duarte (2006) demonstram que plantas irrigadas apresentam melhor desenvolvimento vegetativo, menor índice de incidência de podridão das raízes e maior longevidade, reduzindo em 40% as perdas de produção, com recomendação de irrigação por mangueiras, microaspersores ou por gotejamento, fornecendo 2 litros de água planta⁻¹ dia⁻¹.

Silva *et al.* (2010) e Bonomo *et al.* (2013) asseguram que o manejo da irrigação é uma técnica muito importante do ponto de vista econômico e ambiental em uma atividade agrícola irrigada, visto que o manejo adequado da irrigação, pode economizar água e energia, além de aumentar a produtividade da cultura e melhorar a qualidade do produto.

A partir dos resultados obtidos, é possível, portanto, inferir sobre a possibilidade da interação de ativos tecnológicos de nutrição e irrigação sob a forma de fertirrigação, o que asseguraria, de modo mais ecoeficiente, a circularidade econômica na cultura da pimenta-do-reino.

4 CONCLUSÃO

A pesquisa realizada leva-nos a concluir que a *Gliricidia sepium* L. proporcionou uma redução na irrigação, sendo que sistemas utilizando duas linhas de irrigação reduzem acentuadamente essa demanda hídrica.

Uma considerada redução do custo de operação na irrigação foi assinalada no caso de sistemas com *Gliricidia sepium* com duas linhas de irrigação (GLI-2L), representando um custo anual de R\$ 1.413,50, apresentando um valor de R\$ 93,50, ~7% maior que o salário-mínimo vigente em maio de 2023, em um hectare/ano.

Dada a redução do custo de implantação de *Gliricidia sepium* como tutor vivo, fica assegurado um montante de recursos financeiros que favorece a adoção de irrigação no cultivo de pimenteira-do-reino.

Mesmo sob condição de consórcio, o cultivo da pimenteira-do-reino quando cultivado em tutor vivo de *Gliricidia sepium*, representou uma demanda hídrica na ordem de 4 litros/planta/dia, o que é uma condição bastante promissora para utilização em conjunto de tecnologias ecoeficientes em seu manejo, sendo possível inferir-se sobre a adoção de fertirrigação nessa cultura.

Os resultados demonstram que os pipericultores devem dimensionar os custos para otimizar a produção de pimenta-do-reino, enquanto a academia e a extensão rural garantem as recomendações necessárias sobre o uso da irrigação no cultivo e produção de pimenta-do-reino em tutor vivo de gliricídia, com maior lucratividade.

Em relação às pesquisas referentes a esse modelo de cultivo, registramos como limitação a ausência do coeficiente de cultura (K_c) para uma recomendação eficiente do manejo de irrigação e o uso da água nas diferentes fases de crescimento e produção da pimenteira-do-reino.

AGRADECIMENTOS

Ao MAPA e Embrapa, Tropoc, Ufra, BASA S.A. e ao Viveiro PróMudas, pela parceria, incentivo e pioneirismo no financiamento de pesquisas e formas de produção sustentáveis da pimenta-do-reino.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., GONÇALVES, J. L. M., SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, 2013. <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.
- BARRETO, A. C.; FERNANDES, M. F. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucena leucocephala* em alamedas visando melhoria dos solos dos Tabuleiros Costeiros. **Revista Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1287-1293, 2001.
- BERNARDO, S. *et al.* **Manual de Irrigação**. 9. ed. Viçosa: UFV, 2019. 545p.
- BONOMO, D. Z. *et al.* Vegetative development of the Conilon coffee plant submitted to different irrigation depths. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 2, p. 157-169, 2013.
- BOTH, J. P. C. L. *et al.* Caracteres morfológicos e de produção dos clones Alencar e Equador de pimenteira-do-reino cultivados em tutor vivo de gliricídia em Tomé Açú, Estado do Pará. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e420111436583-e420111436583, 2022.
- BOTH, J. P. C. L. **Produção sustentável de pimenta-do-reino em tutor vivo de gliricídia no estado do Pará**: Bases econômicas e de qualidade. Tese (Doutorado) – Ufra Campus Belém. 2024. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1164303/1/Tese-JoaoPauloBoth.pdf>
- CARDOSO JÚNIOR, E. Q. *et al.* Métodos de preparo de área sobre algumas características físicas do solo e da produção do maracujazeiro (*Passiflora edulis*) no nordeste do Pará. Embrapa. **Boletim de pesquisa e desenvolvimento**, ISSN 1517-2228. 2007.
- CIDADE-BRASIL, 2022. <https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-castanhal.html>
- COELHO, E. F.; SIMÕES, W. L. **Onde Posicionar Sensores de Umidade e de Tensão de Água do Solo Próximo da Planta para um Manejo mais Eficiente da Água de Irrigação**. Cruz das Almas, BA: Embrapa Semiárido, 2015. 6p. il. (Embrapa Semiárido. Circular Técnica 109).
- DELFINO, G. *et al.* Impacto da gliricídia (*Gliricidia sepium*) sob indicadores de qualidade química do solo para uso em sistemas de ILPF (Integração Lavoura-Pecuária-Floresta). In: **VIII Seminário de Iniciação Científica e Pós-Graduação**. Embrapa Tabuleiros Costeiros. 2018.

SANTOS, H. G. dos *et al.* **Sistema brasileiro de classificação de solos.** Brasília, DF: Embrapa, 2018.

DUARTE, M. de L. R. *et al.* **Pimenta-do-reino.** Brasília: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. 82p.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer analysis system to fixed effects split plot type designs. **Revista brasileira de biometria**, [s.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Date accessed: 10 feb. 2020. doi: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

FRANCO, H. H. S. **Abordagem metodológica envolvendo tensiometria e determinação da curva de retenção de água num solo de textura média.** [s.l.] Universidade de São Paulo – Esalq/USP, 2015.

LEMOS, O. F. de; BOTH, J. P. C. L. **Qualificação da tecnologia:** O cultivo de pimenteira-do-reino em tutor vivo de gliricídia. Sistema de Gestão das Soluções Tecnológicas da Embrapa (GESTEC). Embrapa, DF. 2022. Acesso em maio de 2023. <https://sistemas.sede.embrapa.br/gestec/paginas/home.xhtml>

LIMA FILHO, O. F. de *et al.* **Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil:** fundamentos e prática. Brasília, DF: Embrapa. 2. ed. rev. atual. V. 1. 586 p. 2023.

MACEDO, A. B. M. *et al.*, Desempenho de um sistema de irrigação automatizado através da tensão de água no solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 4, n. 2, p. 78-81, 2010.

MANTOVANI, E. C. **Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada.** Viçosa, MG: UFV. 2001.

MARQUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças.** Brasília: Embrapa Hortaliças. Circular técnica, n. 57, 2008. 15p.

MARQUELLI, W.A. *et al.* Manejo da água de irrigação. In: SOUSA, V. F. *et al.* (Ed.). **Irrigação e fertirrigação em fruteiras e hortaliças.** Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2011. p. 157-232.

MENEZES, A. J. E. A. *et al.* **Gliricídia como Tutor Vivo para Pimenteira-do-reino.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2013a. 33p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 393).

MENEZES, A. J. E. A. *et al.* Tutor vivo de gliricídia (*Gliricídia sepium* L.) para pimenteira-do-reino (*Piper nigrum* L.): preservando recursos florestais com produção para o Estado do Pará. **Amazônia: Ci & Desenv.**, Belém, v. 8, n. 16, jan./jun. 2013b.

MORAES, J. G. de; SILVA, E. S. A. **Relatório de avaliação dos impactos de soluções tecnológicas geradas pela Embrapa**: Solução tecnológica Cultivo da pimenteira-do-reino com tutor vivo de gliricídia. Embrapa Amazônia Oriental. 28p. Belém, 2023.

OLIVEIRA, J. A. M.; OLIVEIRA, C. M. M. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos – MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 12, n. 6, p. 3021-3027, 2018.

PAVÃO, E. de M. **Produção de pimenta do reino no Estado do Pará**: opções para intensificação produtiva e impactos nas emissões de CO₂. Dissertação (Mestrado) – Fundação Getúlio Vargas. São Paulo. 75 pag. eq. 2022. Acesso em 10/08/2023. <https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/handle/10438/32856>

PEREIRA, M. E. M. *et al.*, Irrigation management influence and fertilizer doses with boron on productive performance of cauliflower. **Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 36, n. 5, p. 811-821, 2016

RICHARDS, L. A. A pressure membrane extraction apparatus for soil solution. **Soil Science**, v. 51, p. 377-386, 1941.

SAAD, A. M.; LIBARDI, P. L. Qualidade da irrigação controlada por tensiômetros em pivô central. **Scientia Agrícola**, v. 51, n. 3, p. 549-555, 1994.

SANTOS, Helane Cristina Aguiar. **Desempenho produtivo de cultivares de pimenta-do-reino sob condições de manejo de irrigação no Nordeste Paraense**. 185p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), 2023.

SILVA, C. D. S. e *et al.* Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 7-13, 2010.

SILVA, L., LIMA, L., SOUZA, L., PEREIRA, B.; VIANA, R. Conjuntura do mercado da pimenta-do-reino no Pará. *In: II Congresso Internacional das Ciências Agrárias*, 2017. Disponível em: <https://encurtador.com.br/jyAP8>. Acesso em: fev. 2023.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 44, p. 892-898, 1980.

VILLAS BOAS, R. C. *et al.*, Viabilidade econômica do uso do sistema de irrigação por gotejamento na cultura da cebola. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 781-788. 2011.

ZONTA, J. H. *et al.* **Manejo da irrigação do algodoeiro**. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2016. 8p.