



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA – UFRA

DOCTORADO EM AGRONOMIA

RÚBIA CARLA RIBEIRO DANTAS

**COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO E AGRONÔMICO DE PLANTAS DE
PIMENTA-DO-REINO (*Piper nigrum*) CULTIVADAS EM GLIRICÍDIA (*Gliricídia
sepium* L.) SOB DOSES DE NPK.**

BELÉM

2022

RÚBIA CARLA RIBEIRO DANTAS

**COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO E AGRONÔMICO DE PLANTAS DE
PIMENTA-DO-REINO (*Piper nigrum*) CULTIVADAS EM GLIRICÍDIA (*Gliricídia
sepium* L.) SOB DOSES DE NPK.**

Trabalho de tese apresentado à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de doutorado em agronomia: Área de concentração Agronomia, para obtenção do título de doutor.

Orientador: Prof. Dr. Hugo Alves Pinheiro.

Co-orientador: Dr. Edilson Carvalho Brasil.

BELÉM

2022

RUBIA CARLA RIBEIRO DANTAS

**COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO E AGRONÔMICO DE PLANTAS DE
PIMENTA-DO-REINO (*Piper nigrum*) CULTIVADAS EM GLIRICÍDIA (*Gliricidia
sepium* L.) SOB DOSES DE NPK.**

Trabalho de tese apresentado à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do curso de Doutorado em agronomia: Área de concentração: Agronomia. Linha de concentração: produção vegetal em sistemas agrícolas

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Hugo Alves Pinheiro – Orientador
Universidade federal Rural da Amazônia – UFRA

Profa. Dra. Andreia Barcelos Passos Lima Gontijo – 1º Examinadora
Universidade Federal do Espírito Santo – UFES

Profa. Dra. Bruna Sayuri Fujiyama – 2º Examinadora
Instituto Federal do Pará - IFPA

Prof. Dr. Mário Lopes da Silva Júnior – 3º Examinador
Universidade federal Rural da Amazônia – UFRA

Dr. Marcelo Murad Magalhães – 4º Examinador
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA

A minha amada mãe, Cleonice Souto Ribeiro (in memorian) que sempre foi minha maior incentivadora e exemplo, ao meu pai Rubens Carlos Camelo Dantas (in memorian) e as minhas irmãs Vitória Ribeiro e Viviane Ribeiro.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus em primeiro lugar.

À Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, pela formação profissional e oportunidade de realizar o curso de Doutorado em Agronomia;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão das bolsas de estudos e financiamento das pesquisas;

À empresa TROPOC pelo financiamento, apoio e incentivo a pesquisa;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Hugo Alves Pinheiro, pela orientação, amizade e exemplo;

Ao meu co-orientador Dr. Edilson Carvalho Brasil, pelo estímulo, amizade, companheirismo, compreensão e pelos conselhos e orientação durante a condução do trabalho. A ele tenho imensa admiração pelo seu profissionalismo e por sua disposição, não medindo esforços para atender e transmitir seus conhecimentos;

Ao Dr. Oriel Filgueira de Lemos, líder do projeto, por todo conhecimento, amizade, companheirismo, e pelos conselhos e orientação durante a condução da pesquisa. Muito obrigado pela oportunidade e confiança depositadas em mim;

A todos os trabalhadores da TROPOC que direta ou indiretamente nos auxiliaram durante a condução do experimento;

Ao Sr. Augusto Pereira, por toda ajuda e apoio durante toda a condução do experimento;

A toda a equipe da EMBRAPA Amazônia Oriental pelo apoio, amizade e suporte;

À família Ribeiro por toda torcida e apoio nos momentos que mais precisei;

Ao Francisco Salgado Neto, por todo apoio, incentivo e companheirismo em todas as fases do Doutorado, por ter sido meu apoio nos momentos em que mais precisei.

Aos docentes do Programa de Pós-Graduação em Agronomia pelos ensinamentos.

Aos amigos e estudantes do Programa de Pós-graduação em Agronomia por dividirem as dúvidas, incertezas, o conhecimento, momentos tristes e felizes que passei durante os anos do Doutorado.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização dessa pesquisa.

RESUMO

No cultivo convencional da pimenteira-do-reino (*Piper nigrum*) utiliza-se estacas de madeira de lei como tutor para o crescimento da planta. No entanto, para implantação de um hectare de pimenteira-do-reino é necessário a retirada de 25 a 30 árvores da mata nativa para produção de estacas. Nesse contexto, destaca-se o cultivo de pimenteira-do-reino em tutor vivo de gliricídia (*Gliricídia sepium* L.), o qual tem sido objeto de investigação por ser uma alternativa sustentável para produção da cultura. Porém, há carência de informações técnicas sobre os efeitos deste tipo de tutor na fisiologia e crescimento da pimenteira-do-reino, haja vista a hipótese de competição entre essas duas espécies por água, luz ou nutrientes. Assim, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar o comportamento fisiológico, crescimento vegetativo e produtividade de pimenteira-do-reino em primeiro ano de cultivo com tutor vivo de gliricídia submetidas a doses de potássio (K), nitrogênio (N) e fósforo (P). Para tanto, foram conduzidos três experimentos no município de Castanhal-PA, em condição de campo, em delineamento de blocos ao acaso, com os tratamentos arranjados em parcelas subdivididas, com 3 repetições. Experimento 1: parcela - dois tipos de tutores (estacão de madeira de lei e *Gliricídia sepium* L.), subparcela - doses de K (15, 30, 60 e 90g K₂O planta⁻¹); Experimento 2: parcela - dois tipos de tutores (estacão de madeira de lei e *Gliricídia sepium* L.), subparcela - doses de N (10, 20, 40 e 60g N planta⁻¹); Experimento 3: parcela - dois tipos de tutores (estacão de madeira de lei e *Gliricídia sepium* L.), subparcela - doses de P (20, 40, 80 e 120g P₂O₅ planta⁻¹). Os resultados obtidos indicam que a *G. sepium* tem papel importante na manutenção das trocas gasosas, em particular a influência positiva na taxa fotossintética e na condutância estomática, no verão. As pimenteiras em estacão de madeira de lei destacam-se inicialmente em termos de crescimento, entretanto com o tempo e ao final do primeiro ano de cultivo pimenteira-do-reino em tutor vivo de *G. sepium* tende a apresentar crescimento vegetativo semelhante ao cultivo com estacão de madeira de lei, sobretudo com fornecimento de menores quantidade de N e K e maiores de P. No estudo com doses de N a produção de pimenta verde foi maior em cultivo com *G. sepium* e pimenta seca independe do tipo de tutor adotado, por outro lado com K e P a produção de pimenta verde e seca foi maior em cultivo com estacão de madeira de lei.

PALAVRAS-CHAVES: *Piper nigrum* L., adubação, crescimento, parâmetros fisiológicos, produção.

ABSTRACT

In the conventional cultivation of black pepper (*Piper nigrum*) hardwood stakes are used as a tutor for plant growth. However, for the implantation of one hectare of black pepper it is necessary to remove 25 to 30 trees from the native forest to produce stakes. In this context, the cultivation of black pepper in a live tutor of gliricidia (*Gliricidia sepium* L.) stands out, which has been the object of investigation as it is a sustainable alternative to produce the culture. However, there is a lack of technical information about the effects of this type of tutor on the physiology and growth of black pepper, given the hypothesis of competition between these two species for water, light or nutrients. Thus, the objective of the present research was to evaluate the physiological behavior, vegetative growth and productivity of black pepper in the first year of cultivation with a live tutor of gliricidia subjected to doses of potassium (K), nitrogen (N) and phosphorus (P). For that, three experiments were carried out in the municipality of Castanhal-PA, under field conditions, in a randomized block design, with treatments arranged in split plots, with 3 replications. Experiment 1: plot - two types of tutors (hardwood season and *Gliricidia sepium* L.), subplot - K doses (15, 30, 60 and 90g K₂O plant⁻¹ of); Experiment 2: plot - two types of tutors (hardwood season and *Gliricidia sepium* L.), subplot - N doses (10, 20, 40 and 60g N plant⁻¹); Experiment 3: plot - two types of tutors (hardwood season and *Gliricidia sepium* L.), subplot - P doses (20, 40, 80 and 120g P₂O₅ plant⁻¹). The results obtained indicate that *G. sepium* has an important role in the maintenance of gas exchange, in particular the positive influence on photosynthetic rate and stomatal conductance, in summer. Pepper plants in hardwood season stand out initially in terms of growth, however, with time and at the end of the first year of cultivation, black pepper in a live tutor of *G. sepium* tends to show vegetative growth like cultivation with a season of *G. sepium*. hardwood, especially with the supply of lower amounts of N and K and higher amounts of P. In the study with doses of N, the production of green pepper was higher in cultivation with *G. sepium* and dry pepper regardless of the type of tutor adopted, on the other hand with K and P the production of green and dry pepper was higher in cultivation with season of hardwood.

Keywords: *Piper nigrum* L., fertilization, growth, physiological parameters, production.

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1. CONTEXTUALIZAÇÃO.....	10
2. REVISÃO DE LITERATURA	12
2.1. Importância da Pimenta-do-reino	12
2.2. Pimenta-do-reino e formas de cultivo.....	13
2.3. Pimenta-do-reino e tutor vivo de <i>Gliricídia (Gliricidia sepium L.)</i>	14
2.4. Pimenta-do-reino e adubação.....	15
2.5. Pimenta-do-reino, nutrição e fotossíntese.....	16
REFERÊNCIAS.....	17
3. EFEITO DO NITROGÊNIO NAS TROCAS GASOSAS FOLIARES, CRESCIMENTO VEGETATIVO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE PIMENTA-DO-REINO USANDO <i>GLIRICIDIA SEPIUM</i> COMO SUPORTE VIVO.	23
ABSTRACT.....	24
3.1. Introdução	25
3.2. Material e Métodos	26
3.3. Resultados	31
3.4. Discussão	37
3.5. Conclusão.....	40
REFERÊNCIAS.....	41
4. TROCAS GASOSAS FOLIARES, CRESCIMENTO VEGETATIVO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE PIMENTA-DO-REINO USANDO <i>GLIRICIDIA SEPIUM</i> COMO SUPORTE VIVO SOB DOSES DE POTÁSSIO.	46
RESUMO.....	46
ABSTRACT.....	47
4.1. Introdução	48
4.2. Material e métodos.....	49
4.3. Resultados e Discussão	54
4.4. Conclusão.....	62
REFERÊNCIAS.....	62

5. COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO E AGRONÔMICO DE PLANTAS DE PIMENTA-DO-REINO (<i>PIPER NIGRUM</i>) CULTIVADAS EM GLIRICÍDIA (<i>GLIRICÍDIA SEPIUM</i> L.) SOB DOSES DE FÓSFORO.	66
RESUMO.....	66
ABSTRACT.....	67
5.1. Introdução	68
5.2. Material e métodos.....	69
4.3. Resultados e Discussão	73
5.5. Conclusão.....	82
REFERÊNCIAS.....	83

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) desde a antiguidade é a especiaria mais comercializada e consumida no mundo (NAIR, 2011). Originária da Índia, foi introduzida no Brasil no século XVII, inicialmente no estado da Bahia, como planta ornamental nos quintais e pomares, porém foi estabelecida como cultivo agrícola a partir de 1993 no estado do Pará, pelos imigrantes japoneses no município de Tomé-Açu. Os resultados satisfatórios obtidos pelos agricultores japoneses incentivaram os agricultores da região e de outros Estados brasileiros a cultivar a pimenta-do-reino o que culminou no sucesso da cultura no Brasil (ALBUQUERQUE & CONDURÚ, 1971), o qual é o segundo maior produtor e exportador mundial e, juntamente, com o Vietnã e Indonésia detém 65% do mercado global do produto (FAO, 2020).

Por possuir hábito de crescimento trepador as plantas de pimenta-do-reino necessitam de suporte para ficarem eretas, o chamado “tutor”, que pode ser vivo ou morto. Em habitat natural, crescem aderidas a troncos de árvores, que funcionam como tutores. Na Índia, Indonésia, Madagascar e República Dominicana as pimenteiras são cultivadas aderidas tanto a estacas de madeira de lei (tutor morto), sistema de plantio considerado intensivo, quanto a árvores (tutor vivo) em plantios considerados semi-intensivo (SALAM et al., 1991; GUNARATNE & HEENKENDA 2004; DINESH et al., 2010; KUNHAMU et al., 2016; RODRIGUES et al., 2019).

No Brasil, o sistema de cultivo de pimenta-do-reino predominante é o intensivo, no qual as plantas são cultivadas a pleno sol, aderidas a tutores de madeira de lei e com utilização de altas doses de insumos químicos. Entretanto, têm sido identificados alguns fatores limitantes nesse tipo de sistema, como: a obtenção de estacas de madeira de lei e o alto custo de implantação da lavoura (COSTA & MEDEIROS, 2000; De MENEZES et al., 2013).

Estimativas apontam que para implantação de um hectare do sistema intensivo de cultivo de pimenta-do-reino é necessária a supressão de 25 a 35 árvores da floresta nativa. Desse modo, esse tipo de sistema tem contribuído para o declínio de populações de espécies lenhosas proibidas de corte (ISHIZUKA et al., 2004). Sendo assim, para viabilização do cultivo de pimenta-do-reino a longo prazo e com a intenção de diminuir os custos de implantação da lavoura e contornar a dificuldade de obtenção de estacas de madeira de lei, tem-se buscado alternativas frente ao uso de tutor morto de madeira de lei (De MENEZES et al., 2013).

Uma alternativa ao cultivo intensivo de pimenta-do-reino com tutor morto de madeira de lei seria a adoção do cultivo semi-intensivo com utilização de espécies arbóreas como tutor vivo para a pimenta-do-reino. No Brasil, utiliza-se espécies arbóreas como neen (*Azadirachta integrifoliola Merr*), moringa (*Moringa oleifera Lam*) e gliricídia (*Gliricidia sepium L*), em alternativa ao tutor morto, entretanto a adoção dessas espécies pelos pipericultores ainda é incipiente se comparado ao uso de estacas de madeira de lei, fato este que se deve, pelo menos em parte, a carência de informações técnicas voltadas para o sistema de produção semi-intensivo com uso de espécies arbóreas como tutor vivo para a pimenta-do-reino.

Dentre as espécies arbóreas utilizadas em cultivo semi-intensivo de pimenta-do-reino no Brasil, o cultivo com gliricídia tem-se mostrado promissor (De MENEZES et al., 2013). Entre as vantagens do uso de espécies arbóreas como tutor para pimenta-do-reino, com destaque para a gliricídia, elenca-se a redução de custos de implantação da lavoura, diminuição da dependência e supressão de espécies arbóreas de mata nativa, aumento da fertilidade do solo, fixação de nitrogênio no solo e reciclagem de nutrientes (ISHIZUKA et al., 2004; DINESH et al., 2010; OLIVEIRA et al., 2018).

Ao adotar o cultivo semi-intensivo com uso de espécies arbóreas como tutor vivo para produção de pimenta-do-reino, o risco de competição entre a espécie arbórea e a pimenta-do-reino seja por água, luz ou nutrientes existe. No entanto, como em cultivo com gliricídia há um manejo de poda ao longo do ano para evitar o sombreamento excessivo da pimenta-do-reino e a gliricídia ser pouco exigente em termos de água, destaca-se a competição por nutrientes como um fator importante a ser considerado no desenvolvimento e crescimento da pimenta-do-reino em cultivo semi-intensivo com uso de gliricídia como tutor vivo (PARROTTA, 1992; ISHIZUKA et al., 2004).

Nesse contexto, a adubação torna-se crucial para obtenção de altas produtividades de pimenta-do-reino em tutor vivo de gliricídia. Haja vista que a pimenta-do-reino é extremamente exigente por nutrientes, sobretudo por N (nitrogênio), K (potássio) e P (fósforo) (CHIBA & TERADA, 1976; VELOSO et al., 1999, BRASIL et al., 2020). Entretanto, a atual recomendação de adubação para pimenta-do-reino leva em consideração o cultivo intensivo, recomendação esta que pode não se adequar ao cultivo semi-intensivo com tutor vivo (BRASIL et al., 2020). Desse modo, percebe-se que ainda há lacunas sobre a viabilidade técnica do uso de espécies arbóreas como tutores vivos, em especial o uso de gliricídia, para produção de pimenta-do-reino. Desse modo, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar o comportamento

fisiológico e agrônômico de plantas de pimenta-do-reino em tutor vivo de glicídica sob doses de N, P e K ao longo do primeiro ano de cultivo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Importância da Pimenta-do-reino

A pimenta-do-reino (*Piper nigrum*), é uma planta trepadeira, cultivada em muitas regiões tropicais do mundo, como Índia, Brasil, Vietnã, Indonésia, Malásia e Sri Lanka. A espécie se destaca mundialmente como a principal especiaria comercializada para atender a indústria alimentícia, medicinal, perfumaria e cosmética (RODRIGUES & SILVA, 2010). É a única especiaria cujos grãos são comercializados em quatro versões: preta - grãos em sua maioria maduros, debulhados das espigas e secos ao sol ou em secadoras; branca - grãos debulhados, secos e descascados; verde - grãos debulhados ainda imaturos; e vermelha - grãos amadurecidos e debulhados, embora a sua forma mais comum de comercialização seja a preta (EMBRAPA, 2004).

Durante os séculos XV e XVI a cultura motivou viagens entre a Europa e a Ásia para sua importação pelos europeus. A exploração econômica, no Brasil, só veio a ocorrer a partir de 1933, quando imigrantes japoneses, que se destinavam ao Pará, trouxeram algumas mudas da cultivar Cingapura (Kuching) e as plantaram em Tomé-Açu. As poucas mudas introduzidas foram sendo multiplicadas e, a partir de 1955, com o uso de adubações pesadas, tutores mortos e outras tecnologias, a cultura proporcionou um incremento rápido na produção no País (ALBUQUERQUE & CONDURÚ, 1971).

O Brasil é o segundo maior produtor e exportador mundial da especiaria e juntamente com Vietnã e indonésia detém 65% do mercado global do produto. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2020), a área cultivada no Brasil com pimenta-do-reino em 2020 foi de aproximadamente 37,3 mil hectares e a produção atingiu cerca de 114,7 mil. A produção da cultura está concentrada no estado do Pará, que é historicamente o maior produtor e exportador nacional, no Espírito Santo e na Bahia. Entretanto, a partir de 2018, o Espírito Santo apresentou grande expansão de área, e passou a ser o maior produtor, seguido pelo Pará e Bahia.

Conforme apresentado pela International Pepper Community (IPC), em 2021, no Brasil, a exportação de pimenta-do-reino alcançou valores em torno de US\$ 306 milhões e no mundo

ultrapassaram 2 bilhões de dólares. No Pará, a cultura da pimenta-do-reino rende em média 50 milhões de dólares ao ano e emprega cerca de 70 mil a 80 mil pessoas, no período da safra.

2.2. Pimenta-do-reino e formas de cultivo

Para produção de pimenta-do-reino existem dois sistemas de cultivo: Intensivo, com a pimenta-do-reino cultivada aderida a postes de madeira ou estacas (tutor morto) e semi-intensivo, que é a pimenta-do-reino cultivada aderida a espécies arbóreas (tutor vivo). No cultivo intensivo a pimenta-do-reino é cultivada a pleno sol aderida a tutores de madeira de lei com aplicação de altas doses de insumos químicos, este modelo é o mais difundido e utilizado no Brasil e tem apresentado algumas limitações como: dificuldade para obtenção de estacas de madeira de lei, alto preço das estacas que encarece o custo de implantação, esgotamento nutricional e degradação do solo; as altas doses de inseticidas, herbicidas e adubação química que reduzem a diversidade de insetos e os micro-organismos do solo, que são essenciais para o controle biológico de pragas e doenças da lavoura acarretando em diminuição da longevidade das lavouras de pimenta-do-reino (ISHIZUKA et al., 2004; De MENEZES et al., 2013).

No cultivo semi-intensivo a planta é cultivada aderida a troncos de árvores (tutor vivo). Nesse sistema, evita-se erosão por gota de chuva, fixa-se nitrogênio no solo quando o tutor vivo é uma leguminosa, e ainda reduz os custos de implantação em até 30% (De MENEZES et al., 2013). Há economia em gastos com fertilizantes, pois os micro-organismos associados à matéria orgânica otimizam a ciclagem dos nutrientes. A cobertura do solo reduz o número de plantas espontâneas e capinas, diminui a evapotranspiração, otimizando o uso da água, economizando gastos com irrigação. O aumento da biodiversidade promove o controle biológico e diminui a incidência de pragas e doenças, aumentando a longevidade do pimental (ISHIZUKA et al., 2004; De MORAES et al., 2018; RODRIQUES et al., 2019). Em contrapartida, há aumento dos custos de manutenção com a poda dos tutores, atraso no início de floração e redução da produtividade nos primeiros anos de cultivo em razão da competição das raízes (ISHIZUKA et al., 2004; De MENEZES et al., 2013).

O sistema semi-intensivo com uso de espécies arbóreas é muito difundido na Índia, Indonésia, Madagascar e República Dominicana (SALAM et al., 1991; GUNARATNE & HEENKENDA, 2004; DINESH et al., 2010). No entanto, no Brasil, esta prática de cultivo ainda é pouco utilizada, mas estudos indicam que é uma boa alternativa de produção sustentável pois

além de diminuir os custos de implantação da lavoura, uma vez que o custo de implantação de 1 hectare de pimenta-do-reino em tutor vivo é de 34.204 mil e em tutor morto é 47.118 mil, ou seja, há a redução de até 35% dos custos, pode aumentar a longevidade da lavoura (WONG & PAULUS, 1993; ISHIZUKA et al., 2004; KRISHNAMURTHY et al., 2010; Da tecnologia, 2018).

2. 3. Pimenta-do-reino e tutor vivo de *Gliricídia* (*Gliricidia sepium* L.)

A *Gliricidia sepium* L. é uma espécie de grande interesse comercial e econômico, para regiões tropicais, pelas suas características de uso múltiplo como em adubação verde, lenha, em consórcios agroflorestais, forragem para bovinos, ovinos e caprinos, cerca viva para pasto dentre outros, sendo cultivada em diversos países tropicais (DUQUE, 1983; ANDRADE et al., 2015; AGEBED et al., 2018; YADAV et al., 2020). Vulgarmente conhecida como gliricídia no Brasil, é também denominada como madero negro, mata ratón, madre de cacao, no México e em países da América Central. A espécie pertence à família Fabaceae sendo caracterizada como uma planta perene, que se reproduz sexuada (por semente) e assexuadamente (por estacas). Apresenta porte arbóreo variando de 12 a 15 metros de altura, com diâmetros de até 30 cm e crescimento cespitoso, formando em média 4 a 5 fustes (DRUMOND & CARVALHO FILHO, 1999; KIIL & DRUMOND, 2001).

A gliricídia é encontrada em regiões localizadas desde o nível do mar até 1500 m de altitude, e com precipitação de 600 a 3500 mm ao ano, suportando períodos prolongados de seca de até oito meses (PARROTTA, 1992). A espécie não tolera geadas, é pouco exigente em solos, à exceção daqueles mal drenados e vegeta bem em regiões com temperaturas mínimas de 14 a 20 °C nos meses mais frios e até 34 a 41 °C, nos meses mais quentes (FRANCO, 1988).

Na América Central a principal utilização da gliricídia é como cerca viva, por ser de fácil propagação, por fornecer estacas e pela tolerância a repetidos cortes (KIIL & DRUMOND, 2001; MATOS et al., 2005). Também possui valor como forrageira, pois sua folhagem tem alto valor proteico, variando de 20 a 30% de proteína bruta, podendo ser consumida por bovinos, ovinos, suínos, caprinos aves e coelhos (ANDRADE et al., 2015).

Além do uso já mencionados, a espécie tem sido plantada nos campos de cultivo, em fileiras suficientemente espaçadas entre si, para permitir o plantio de culturas agrícolas ou forrageiras entre elas. O manejo da gliricídia neste sistema é feito por cortes periódicos da copa das árvores (geralmente de dois a três cortes por ano). Ademais, estudos demonstram que a

introdução da gliricídia em campos de cultivo agrícola pode apresentar várias vantagens potenciais, a saber: produção de biomassa rica em nutrientes para adubação orgânica, presença de um sistema radicular perene, cobertura e proteção do solo, manutenção ou melhoria das condições físicas, químicas e biológicas do solo, manutenção da microfauna em profundidade e produção de forragem para alimentação animal, além de outros produtos florestais ou não-florestais (SCHROTH & LEHMANN, 1995; GÓMEZ & PRESTON, 1996; ESQUIVEL et al., 1998; BARRETO & FERNANDES, 2001; DINESH et al., 2010, KUNHAMU et al., 2016, OLIVEIRA et al., 2018).

Estudos apontam que os impactos positivos da adoção de gliricídia na cadeia produtiva da pimenta-do-reino estão ligados ao aumento da renda, em função da redução do custo de implantação, maior longevidade da lavoura e aos benefícios ambientais, relacionados à melhoria na qualidade do solo e qualidade do produto, em decorrência da redução de resíduos químicos. Além disso, por ser uma leguminosa a gliricídia realiza fixação biológica do nitrogênio e, ao longo do tempo, pode fornecer nitrogênio para a pimenta-do-reino e assim contribuir com diminuição do uso de fertilizantes nitrogenados (De MENEZES et al., 2013; DINESH et al., 2010; de MORAES et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2018).

2.4. Pimenta-do-reino e adubação

A pimenta-do-reino é uma cultura extremamente exigente nutricionalmente. No Brasil, a produção está localizada em regiões com predominância de Latossolos caracterizados pela elevada acidez, baixa saturação por bases e, com altos teores de alumínio trocável, manganês e ferro (FALESI, 1972). Desse modo, para contornar os problemas dos solos de baixa fertilidade natural é necessário aplicação de grandes quantidades de corretivos e fertilizantes para suprir a demanda nutricional da cultura.

Pesquisas realizadas nos principais Países produtores de pimenta-do-reino observaram que a exigência por nutrientes pela espécie segue a seguinte ordem decrescente: N e K > Ca > Mg > P (SIM, 1971). No Brasil, estimou-se necessidade por planta adulta de 90g de N, 10g de P, 120g de K, 80g de Ca e 11g de Mg, para manutenção da produção. Anualmente a pimenta-do-reino extrai em torno de 233kg de N, 172kg de K, 75kg de Ca, 17kg de P e 18kg de Mg por hectare (SIM, 1971; SADANANDAN, 2000).

Em pesquisa em solos do Estado do Pará, Chiba & Terada (1976), ao avaliarem as quantidades de nutrientes existentes em diversas fases de crescimento de pimenteiros cultivados

em condição de campo, concluíram que o nitrogênio é absorvido em pequenas quantidades pelas pimenteiros jovens, aumentando à medida que se vai estabilizando o crescimento e produção. O K e o N são os nutrientes mais exigidos, seguindo do P, Ca e, por último, o Mg. Veloso et al., 1999 ao avaliar a extração de nutrientes pela pimenta-do-reino, também no estado do Pará, verificaram que a quantidade total existente na planta seguiu a seguinte ordem: $N > Ca > K > Mg > P$. Quanto as quantidades de N, P, K, Ca e Mg exportadas pelos frutos, em kg/ha^{-1} na colheita foram: 11,22 de N, 6,15 de K, 3,84 de Ca, 1,18 de Mg e 1,07 de P; indicando, assim, que nos solos do Estado do Pará a cultura é exigente, sobretudo, em N, Ca e K.

Dalazen et al. (2020) ao avaliar a dinâmica de macronutrientes em folhas e cachos de pimenteira-do-reino, verificaram que os teores de macronutrientes foliares variaram ao longo do período reprodutivo da pimenta-do-reino, com K e Mg variando mais do que N, P, Ca e S. Ainda, observaram que os macronutrientes acumulam em menor conteúdo na fase de inflorescência, seguido por um aumento constante até o final do período do ciclo reprodutivo, quando os macronutrientes atingem seu máximo ponto de acumulação. Dentro os nutrientes estudados o N, K e Ca são os mais acumulados nos cachos de pimenta-do-reino, seguido por P, Mg e S.

Vale destacar que os estudos relacionados a adubação da pimenta-do-reino, são em cultivos intensivos, ou seja, cultivos em tutor morto de madeira de lei. Portanto, percebe-se a carência de pesquisas com adubação de pimenta-do-reino em cultivos semi-intensivo com tutor vivo.

2. 5. Pimenta-do-reino, nutrição e fotossíntese.

A produção de biomassa é dependente da atividade fotossintética das folhas, cujo crescimento é diretamente dependente de um suprimento nutricional adequado. Os nutrientes também atuam como constituintes integrais do aparelho fotossintético e seu fornecimento controla indiretamente a fotossíntese (ENGELS et al., 2012). Por exemplo, o nitrogênio foliar, em sua maior parte, é investido em componentes fotossintéticos; o potássio está intimamente associado a abertura e fechamento dos estômatos; o fósforo quando deficiente afeta a fotossíntese através da diminuição do tilacóide e de processos do estroma; o magnésio é um constituinte chave da clorofila (WOLFF & FLOSS, 2008; TREVISAN et al., 2017; TRÄNKNER et al., 2018; PÉREZ-JIMÉNEZ et al., 2019; HAN et al., 2021).

Toda e qualquer alteração no processo fotossintético, seja em função da nutrição, sistema de cultivo, condição climática pode levar a impactos significativos no acúmulo de biomassa e na produção da cultura (RYLSKI & SPIGELMAN, 1982; SHOWEMIMO & OLAREWAJU, 2007; OLIVEIRA et al., 2018). Desse modo, uma das formas de avaliar se o manejo da cultura está adequado é a avaliação dos atributos morfológicos, fisiológicos e produtivos das plantas, como altura, número de folhas e frutos, área foliar, trocas gasosas, dentre outros (MONTE et al., 2009; RODRIGUES, 2016; PORTO et al., 2018).

O maior crescimento vegetativo implicar em maior número de folhas e expansão da área foliar, o qual contribui para maior captação de luz e assimilação de CO₂ (ZHANG et al. 2017). O desempenho fotossintético em função de variáveis como o sistema de cultivo adotado e níveis de adubação, pode ser mensurado através da avaliação de trocas gasosas. As trocas gasosas indicam a eficiência na regulação da abertura estomática que influenciam diretamente na assimilação do CO₂ (NASCENTE et al. 2016). Ademais, o processo de trocas gasosas é crucial para manutenção de processos vitais das plantas, como o transporte de nutrientes, produção de fotoassimilados, expansão celular, resfriamento e regulação hídrica das células vegetais (PINTO, TÁVORA e PINTO; GOMES, 2014).

O cultivo de pimenta-do-reino em consórcio com espécie arbórea resulta em variações positivas nas trocas gasosas das plantas de pimenta-do-reino quando comparada ao cultivo solteiro, especialmente no verão (OLIVEIRA et al., 2018). Para Oliveira et al. (2018), tal variação pode estar relacionada com a manutenção de uma temperatura mais baixa e umidade relativa mais alta na atmosfera próxima à planta de pimenta-do-reino em consórcio com espécie arbórea, o que implicaria em vantagem para tal sistema de consórcio, sobretudo em épocas de elevadas temperaturas e menor regime hídrico. A implementação de cultivos com espécies arbóreas tem sido utilizada em algumas culturas tropicais, com o objetivo de diminuir os efeitos das condições climáticas extremas e promover maior sustentabilidade ao sistema agrícola, melhorando o desempenho fisiológico da planta quando comparada com plantas em sistema intensivo de cultivo (DAI et al., 2009; ZHU et al., 2012; dos SANTOS et al., 2015; OLIOSI et al., 2016, OLIVEIRA et al., 2018). Assim, o conhecimento das respostas fisiológicas das plantas, pode auxiliar no esclarecimento da dinâmica de crescimento das plantas nos diferentes sistemas de cultivo.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Brisa Marina Silva et al. Uso da gliricídia (*Gliricidia sepium*) para alimentação animal em Sistemas Agropecuários Sustentáveis. **Scientia Plena**, v. 11, n. 4, 2015.
- BARRETO, Antônio Carlos; FERNANDES, Marcelo Ferreira. Cultivo de *Gliricidia sepium* e *Leucaena leucocephala* em alamedas visando a melhoria dos solos dos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, p. 1287-1293, 2001.
- BRASIL, E. C.; CRAVO, M. da S.; VIEGAS, I. Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará. Embrapa Amazônia Oriental-Livro técnico (INFOTECA-E), 2020.
- CAMPELLO, EFC; DE RESENDE, A. S.; MATOS, L. V. Plantio de leguminosas arbóreas para produção de moirões vivos e construção de cercas ecológicas. 2005.
- CHIBA, Morio; TERADA, Shinichi. On the Optimum Amount of Fertilizer Based upon the Amount of Nutrients Absorbed by pepper Plant in Amazonia Region. **Japanese Journal of Tropical Agriculture**, v. 20, n. 1, p. 14-21, 1976.
- COSTA, R.S.C; & MEDEIROS, I. M. Pimenta-do-reino. São Paulo: EMBRAPA, 2000.
- DA SILVA RODRIGUES, Ronaldo; DA SILVA, Roberto Ribeiro. A História sob o Olhar da Química: As Especiarias e sua Importância na Alimentação Humana. A história da Química, v. 32, n. 2, 2010.
- DA TECNOLOGIA, Nome; DE AVALIAÇÃO, Equipe. RELATÓRIO DE AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS, SOCIAIS E AMBIENTAIS DAS TECNOLOGIAS GERADAS PELA EMBRAPA. 2018.
- DAI, Yajuan et al. Effects of shade treatments on the photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll content of *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg. **Environmental and experimental botany**, v. 65, n. 2-3, p. 177-182, 2009.
- DALAZEN, Jéssica Rodrigues et al. Macronutrient dynamics in leaves and bunches of black pepper. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 55, 2020.
- DE ALBUQUERQUE, F. C.; CONDURÚ, José Maria Pinheiro. Cultura da pimenta do reino na região amazônica. 1971.
- DE MENEZES, A. J. E. A. et al. Gliricídia como tutor vivo para pimenteira-do-reino. 2013.
- DE MORAES, Aldecy José Garcia et al. Avaliação dos impactos econômico, social e ambiental do cultivo da pimenteira-do-reino com tutor vivo de gliricídia no estado do Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 7, p. 3696-3715, 2018.
- DINESH, R. et al. Physico-chemical, biochemical and microbial properties of the rhizospheric soils of tree species used as supports for black pepper cultivation in the humid tropics. **Geoderma**, v. 158, n. 3-4, p. 252-258, 2010.
- DOS SANTOS, Cátia A. Filipe et al. Perspectives on the potential impacts of climate changes on coffee plant and bean quality. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, p. 152-163, 2015.
- DRUMOND, Marcos Antônio; DE CARVALHO FILHO, Orlando Monteiro. Introdução e avaliação da *Gliricidia sepium* na região semi-árida do Nordeste Brasileiro. In: QUEIROZ, MA de; GOEDERT, CO; RAMOS, SRR (Ed.). Recursos genéticos e melhoramento de plantas para o Nordeste brasileiro. Petrolina: Embrapa Semi-Árido; Brasília, DF: Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, 1999., 1999.

DUQUE, J. A. (1983). *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. Disponível: site Horticulture Department at Purdue web. URL: http://www.hort.parde.edu/newcrop/duke_energy/Gliricidia_sepium

EMBRAPA - EMBRAPA INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA (2004) Manual Segurança e Qualidade para a Cultura da Pimenta-do-reino. Brasília: EMBRAPA/SEDE, 65 p. (Qualidade e Segurança dos Alimentos). Projeto PAS Campo. Convênio CNI/SENAI/SEBRAE/EMBRAPA

ENGELS, Christof; KIRKBY, Ernest; WHITE, Philip. Mineral nutrition, yield and source–sink relationships. In: Marschner's mineral nutrition of higher plants. **Academic Press**, 2012. p. 85-133.

ESQUIVEL, Jorge et al. Distribución de Nutrientes en el suelo en asociaciones de poró (*Erythrina berteroana*), madero negro (*Gliricidia sepium*) o *Arachis pintoi* con *Brachiaria brizantha*. **Agroforestería en las Américas**, v. 5, n. 17-18, p. 39-43, 1998.

FALESI, Italo Cláudio. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia Brasileira. 1972.

FRANCO, Avílio Antonio. Uso de *Gliricida sepium* como moirão vivo. 1988.

GOMES, Krishna Ribeiro. Irrigação e fertilizações orgânica e mineral na cultura do girassol no litoral cearense. 2014.

GÓMEZ, M.; PRESTON, T. R. Ciclaje de nutrientes en un banco de proteína de matarratón (*Gliricidia sepium*). **Livestock Research for Rural Development**, v. 8, n. 1, p. 1-8, 1996.

GUNARATNE, W. D. L.; HEENKENDA, A. P. Use of gliricidia as a source of green manure for pepper (*Piper nigrum* L.). 2004.

IBGE (2020) - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pimenta-do-reino/br>

ISHIZUKA Y. et al. Sistema de cultivo sombreado. In: DUARTE, M. de L. R. Cultivo da pimenteira-do-reino na Região Norte. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, p. 83-89. Embrapa Amazônia Oriental. Sistemas de produção, 2004.

KIILL, Lúcia Helena Piedade; DRUMOND, Marcos Antônio. Biologia floral e sistema reprodutivo de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.(Fabaceae-Papilionoidae) na região de Petrolina, Pernambuco. **Ciência Rural**, v. 31, p. 597-601, 2001.

KRISHNAMURTHY, K. S. et al. Ideotype concept in black pepper (*Piper nigrum* L.). 2010.

KUNHAMU, T. K. et al. Biomass production, carbon sequestration and nutrient characteristics of 22-year-old support trees in black pepper (*Piper nigrum*. L) production systems in Kerala, India. **Agroforestry Systems**, v. 92, n. 5, p. 1171-1183, 2018.

MONTE, José A. et al. Influência do turno de rega no crescimento e produção do tomateiro no verão em Seropédica. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 222-227, 2009.

NAIR, KP Prabhakaran. The Agronomy and Economy of Black Pepper (*Piper nigrum* L.)-the "King of Spices". **Advances in Agronomy**, v. 82, p. 273-392, 2004.

NASCENTE, Adriano Stephan et al. Biomass, gas exchange, and nutrient contents in upland rice plants affected by application forms of microorganism growth promoters. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 24, n. 3, p. 2956-2965, 2017.

OLIOSI, Gleison et al. Microclimate and development of 'Coffea canephora' cv. Conilon under different shading levels promoted by Australian cedar ('Toona ciliata' M. Roem. var. Australis). **Australian Journal of Crop Science**, v. 10, n. 4, p. 528-538, 2016.

OLIVEIRA, Marcos Góes et al. Physiological responses of photosynthesis in black pepper plants under different shade levels promoted by intercropping with rubber trees. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 42, p. 513-526, 2018.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. FAO. FAOSTAT. Data. Production. Crops. 2020. Available in: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

PARROTTA, J. A. *Gliricidia Sepium* (Jacq.) Walp.-*Gliricidia*, Mother of Cocoa. USDA, Forest Service, Southern Forest Experimental Station, 1992.

PINTO, C. de M.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINTO, OR de O. Relações hídricas e trocas gasosas em amendoim, gergelim e mamona submetidas a ciclos de deficiência hídrica. **Agropecuária Técnica**, v. 35, n. 1, p. 31-40, 2014.

PORTO, Tiago Brito. Parâmetros de crescimento de plântulas de pimentão na semeadura em diferentes substratos.. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pelotas. 2016

RODRIGUES, S. de M. et al. Avaliação de cultivares de pimenteira-do-reino (*Piper nigrum*) em dois tipos de tutores no município de Igarapé-Açu, Pará. Embrapa Amazônia Oriental-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E), 2019.

RYLSKI, Irena; SPIGELMAN, M. Effects of different diurnal temperature combinations on fruit set of sweet pepper. **Scientia Horticulturae**, v. 17, n. 2, p. 101-106, 1982.

SADANANDAN, A. K. 4.1. AGRONOMY AND NUTRITION OF BLACK PEPPER¹. Black Pepper: *Piper nigrum*, p. 163, 2000.

SALAM, M. A., MOHANKUMARAN, N., JAYACHANDRAN, B. K., MAMMEN, M. K, SREEKUMAR, D., & SATHEESH, B. K. Kerala home gardens: thirty one species support black pepper vines. **Agroforest Today** 5:16–19, 1991.

SCHROTH, Götz; LEHMANN, Johannes. Contrasting effects of roots and mulch from three agroforestry tree species on yields of alley cropped maize. **Agriculture, ecosystems & environment**, v. 54, n. 1-2, p. 89-101, 1995.

SHOWEMIMO, F. A.; OLAREWAJU, J. D. Drought tolerance indices in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Int J Plant Breed Genet*, v. 1, n. 1, p. 29-33, 2007.

SIM, E. S. Dry matter production and major nutrient contents of black pepper (*Piper nigrum* L.) in Sarawak. *Malaysian Agr J*, 1971.

TRÄNKNER, Merle; TAVAKOL, Ershad; JÁKLI, Bálint. Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection. **Physiologia plantarum**, v. 163, n. 3, p. 414-431, 2018.

TREVISAN, Evelyn et al. Growth of *Piper nigrum* L. and nutrients cycling by intercropping with leguminous species. **African Journal of Agricultural Research**, v. 12, n. 1, p. 58-62, 2017.

VELOSO, Carlos Alberto Costa; CARVALHO, Eduardo Jorge Maklouf. Absorção e extração de alguns nutrientes pela cultivar 'guajarina' de pimenta-do-reino. **Scientia Agricola**, v. 56, p. 443-447, 1999.

WOLFF, William Messa; FLOSS, Elmar Luiz. Correlação entre teores de nitrogênio e de clorofila na folha com o rendimento de grãos de aveia branca. **Ciência rural**, v. 38, p. 1510-1515, 2008.

WONG, T. H.; PAULUS, A. D. Evaluation of live supports for black pepper. 1993.

YADAV, Jaipal et al. Effect of Potash Management through Gliricidia Green Leaf Manuring on Soil Fertility and Yield of Soybean in Vertosols. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 9, n. 2, p. 1033-1037, 2020.

ZHANG, Kun et al. Physiological properties and chlorophyll biosynthesis in a Pak-choi (*Brassica rapa* L. ssp. *chinensis*) yellow leaf mutant, pilm. **Acta Physiologiae Plantarum**, v. 39, n. 1, p. 1-10, 2017.

ZHU, Juan-juan et al. Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, and fruit yield in hot pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under different shade and soil moisture during the fruit growth stage. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 11, n. 6, p. 927-937, 2012.

CAPÍTULO 2 - EFEITO DO NITROGÊNIO NAS TROCAS GASOSAS FOLIARES, CRESCIMENTO VEGETATIVO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE PIMENTA-DO-REINO USANDO *GLIRICIDIA SEPIUM* COMO SUPORTE VIVO.

3. EFEITO DO NITROGÊNIO NAS TROCAS GASOSAS FOLIARES, CRESCIMENTO VEGETATIVO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE PIMENTA-DO-REINO USANDO *GLIRICIDIA SEPIUM* COMO SUPORTE VIVO.

* artigo submetido na revista *African Journal of Agricultural Research*

RESUMO

Para a implantação de um hectare de pimenta-do-reino (*Piper nigrum*) são retiradas cerca de 25 a 30 árvores da floresta amazônica para a produção de tutores para a pimenta. Como alternativa ao tutor morto de madeira de lei (TM), tem-se o cultivo sustentável da pimenta-do-reino com espécies arbóreas, dentre elas o tutor vivo (TV) de gliricídia (*Gliricidia sepium* L.). No entanto, há carência de informações técnicas sobre o efeito do cultivo da pimenta-do-reino com espécies arbóreas no crescimento, fisiologia e produção da pimenta-do-reino, dada a hipótese de competição entre as plantas e o tutor vivo por água, luz ou nutrientes. Portanto, objetivou-se avaliar o crescimento vegetativo, fisiologia e produção de pimenta-do-reino, na fase de formação, cultivada em um tutor vivo de *G. sepium* submetido a doses de nitrogênio (N). O estudo foi conduzido em área pertencente à empresa TROPOC, localizada no município de Castanhal-Pará. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas, com três repetições. As parcelas foram constituídas por dois tutores (tutor morto e tutor vivo de *G. sepium*) e as subparcelas consistiram em doses crescentes de N (10, 20, 40 e 60g N planta⁻¹). Os resultados indicaram que as plantas de pimenta em tutor morto se destacam em termos de crescimento inicial; entretanto, ao final do primeiro ano de cultivo de pimenta-do-reino em tutor vivo de *G. sepium* tende a apresentar crescimento vegetativo ligeiramente semelhante ao cultivo com tutor morto. A produção de pimenta verde aumentou 32% no cultivo com *G. sepium*, enquanto para a produção de pimenta seca não houve distinção entre os tutores, sendo influenciada positivamente apenas pelas doses de N.

Palavras-chave: Pimenta preta, Rendimento de grãos, Crescimento vegetativo, Competição de nitrogênio

EFFECT OF NITROGEN ON LEAF GAS EXCHANGE, VEGETATIVE GROWTH AND PRODUCTIVITY OF BLACK PEPPER PLANTS USING *GLIRICIDIA SEPIUM* AS A LIVE SUPPORT.

ABSTRACT

For the implantation of one hectare of black pepper (*Piper nigrum*), around 25 to 30 trees are removed from the Amazon Forest for the production of tutors for pepper. As an alternative to the dead wood tutor (WT), there is the sustainable cultivation of black pepper with tree species, among them the live tutor (LT) of gliricidia (*Gliricidia sepium* L.). However, there is a lack of technical information on the effect of black pepper cultivation with tree species on the growth, physiology and production of black pepper, given the hypothesis of competition between plants and the living tutor for water, light or nutrients. Therefore, the objective was to evaluate the vegetative growth, physiology and production of black pepper, in the formation phase, cultivated in a live tutor of *G. sepium* submitted to doses of nitrogen (N). The study was conducted in an area belonging to the company TROPOC, located in the municipality of Castanhal-Pará. The experimental design was in randomized blocks, with the treatments arranged in split plots, with three replications. The plots consisted of two tutors (dead tutor and live tutor of *G. sepium*) and the subplots consisted of increasing doses of N (10, 20, 40 and 60g N plant⁻¹). The results indicated that pepper plants in dead tutor stand out in terms of initial growth; however, at the end of the first year of black pepper cultivation in a live tutor, *G. sepium* tends to present a vegetative growth slightly like the cultivation with a dead tutor. The production of green pepper was higher 32% cultivation with *G. sepium*, while to produce dry pepper there was no distinction between the tutors, being positively influenced only by the doses of N.

Keywords: Black pepper, Grain yield, Vegetative growth, Nitrogen competition

3.1. Introdução

A pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L., Piperaceae) é uma trepadeira perene de relevante importância econômica para a agroindústria devido ao sabor e tempero de seus frutos, que são amplamente utilizados mundialmente para fins culinários (NAIR, 2011). Os principais produtores mundiais de pimenta preta são Vietnã, Brasil, Sri Lanka, Índia e Indonésia. No entanto, a produção anual de frutos é bastante variável entre esses países. Para o período de 2015 a 2018, a produção anual de frutos de pimenta preta variou de 2.595 kg ha⁻¹ no Vietnã a 479 kg ha⁻¹ na Indonésia (FAOSTAT, 2020). No Brasil, a pimenta-do-reino vem sendo cultivada nos estados do Espírito Santo, Bahia e Pará, este último apresentando a maior área cultivada (16.531 ha) e a segunda maior produção de pimenta seca (2.246 t ha⁻¹) para a período entre 2017 e 2019 (IBGE, 2020).

Como a pimenta-do-reino tem hábito de trepadeira, seu crescimento ortotrópico precisa ser guiado usando algum suporte físico (NAIR, 2011). Os suportes convencionais para o cultivo da pimenta-do-reino são provenientes de tutor morto de madeira de lei (TM) com cerca de 2,5 a 3 m de altura (DUARTE 2004; De MENEZES et al. 2013). Considerando que a pimenta-do-reino geralmente é plantada em fileiras simples espaçadas 2,5 m entre si, e considerando que as plantas são espaçadas 2,5 m nas fileiras, portanto, 2.000 plantas podem ser cultivadas por hectare, exigindo, no mínimo, uma quantidade igual de TM para orientar o crescimento vegetativo das plantas (DUARTE, 2004; BRASIL et al., 2020).

No norte do Brasil, onde são encontradas as maiores áreas de cultivo de pimenta-do-reino, os TM são obtidos de diferentes espécies de árvores exploradas em áreas de floresta primária e secundária no bioma Amazônico (ISHIZUKA et al. 2004). No entanto, essa exploração impacta negativamente o ecossistema amazônico e, por esse motivo, o uso do TM no sistema de cultivo intensivo de pimenta-do-reino tem sido questionado.

Em alguns cultivos de pimenta-do-reino em todo o mundo, os TM foram substituídos com sucesso por tutores vivos (TV), que consiste no uso de algumas espécies de árvores plantadas na mesma cova da pimenta-do-reino, de modo que ambas as espécies são co-cultivadas ao longo da vida útil da lavoura (KUMAR et al. 2021; DINESH et al. 2010). Neste sistema de cultivo, considerado semi-intensivo, as mudas ou segmentos do caule da espécie de TV são plantados antes da pimenta-do-reino e como o crescimento vegetativo da espécie de TV é relativamente rápido, seu caule servirá como suporte para guiar o crescimento da pimenta-do-reino (De MENEZES et al., 2013; RODRIGUES et al. 2016). Na Índia, mais de 31 espécies de árvores

foram usadas como TV (SALAM et al. 1991), como *Ailanthus triphysa*, *Erythrina variegata*, *Gliricidia sepium* e *Garuga pinnata* (GUNARATNE & HEENKENDA; 2004; KUNHAMU et al., 2016). No Sri Lanka, Malásia e Filipinas, as espécies mais comuns utilizadas como TV são *Grevillea robusta*, *G. sepium* e *Erythrina variegata* (Dinesh et al. 2010). Na República Dominicana (América Central), a pimenta-do-reino é cultivada sob sombreamento usando *Azadirachta integrifoliola* e *Leucaena leucocephala* como TV (ISHIZUKA et al., 2004).

No Brasil, principalmente nas condições edafoclimáticas da Amazônia Oriental, que é a principal área produtora de pimenta-do-reino na Amazônia, o uso de TV em cultivos de pimenta-do-reino é incipiente. Nesta área, a produtividade de grãos de pimenta-do-reino co-cultivada com *G. sepium* variou de 2,5 a 3,5 kg de grãos secos por planta⁻¹ e tal variabilidade foi relacionada ao tipo de cultivar utilizada (De MENEZES et al., 2013). Por outro lado, observou-se que a produtividade de grãos de pimenta-do-reino nos dois primeiros anos de cultivo foi menor no sistema de cultivo semi-intensivo de co-cultivo com *G. sepium* (1,26 kg planta⁻¹) do que no sistema de cultivo intensivo com TM (2,54 kg planta⁻¹), porém, no terceiro ano de cultivo, a produtividade de grãos foi maior no sistema de co-cultivo com *G. sepium* (5,11 kg planta⁻¹) do que no sistema intensivo com TM (4,2 kg planta⁻¹) (RODRIGUES et al., 2019). Os autores especularam que ajustes na adubação poderiam atenuar a competição por nutrientes entre pimenta-do-reino e *G. sepium* no primeiro ano de cultivo em condições de campo, induzindo maior crescimento vegetativo e rendimento inicial de grãos de pimenta-do-reino (RODRIGUES et al., 2019). Tal inferência ainda não foi examinada e, considerando, que a pimenta-do-reino requer grandes quantidades de nitrogênio (SIM 1976; VELOSO et al., 1999; VELOSO et al., 2000; DALAZEN et al., 2020), principalmente durante os 12 meses seguintes ao plantio das mudas no campo (CHIBA & TERADA, 1976; RODRIGUES et al., 2019), pode-se levantar a hipótese de que ajustes na adubação nitrogenada no primeiro ano de cultivo podem atenuar a competição por nutrientes entre pimenta-do-reino e *G. sepium* (TV), potencializando tanto o crescimento vegetativo quanto a produção inicial de frutos da pimenta-do-reino. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar os efeitos de doses de nitrogênio (10, 20, 40 e 60 g N planta⁻¹) nas trocas gasosas, crescimento vegetativo e na primeira produtividade de frutos verdes e grãos secos de pimenta-do-reino cultivada com TM e *G. Sepium* como TV nas condições edafoclimáticas da Amazônia oriental brasileira.

3.2 Material e Métodos

Local do experimento

O experimento foi conduzido em uma área de cerca de 0,65 ha localizada no município de Castanhal (1°17'40" S, 47°49'35" W; e 47 m de altitude acima do nível do mar), estado do Pará, norte do Brasil. O clima local é do tipo Aw segundo a classificação de Köppen caracterizado por um clima chuvoso com temperatura média anual de 26°C, máxima e mínima de 28 e 22°C respectivamente, valores de umidade relativa do ar que variam entre, 95 e 79% e média anual de precipitação em torno de 2500 mm (ALVARES et al., 2013). O solo do local experimental é um Latossolo Amarelo Distrófico (dos SANTOS et al., 2018), cujas propriedades físicas e químicas na camada de 0 – 20 cm de profundidade constam na Tabela 1.

Tabela 1 – Características químicas e física de amostra de solo coleta na profundidade de 0-20 cm antes da instalação do experimento no município de Castanhal, estado do Pará, Brasil.

pH (H ₂ O)	P	K	Ca	Ca+Mg	Al	H+Al	M.O	Areia	Silte	Argila
	----- mg dm ⁻³ -----		----- cmol _c dm ⁻³ -----				----- g kg ⁻¹ -----			
4,16	9	12	0,38	0,68	1,24	6,06	7,44	733	127	140

*matéria orgânica (M.O)

Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi montado em blocos, no qual os tipos de suporte de crescimento (estacas de madeira de lei (TM), como suporte inerte e *G. sepium* (TV), como suporte vivo) foram distribuídos nas parcelas e doses de nitrogênio (10, 20, 40, e 60 g N planta⁻¹) nas subparcelas, com três repetições por cada combinação de tratamento. Cada repetição foi formada por uma linha de plantio contendo 4 plantas, perfazendo um total de 12 plantas por combinação de tratamento e um total de 96 plantas no experimento como um todo.

Instalação e condução do experimento

Em setembro de 2019 iniciou-se o preparo da área experimental com limpeza, aração e gradagem. Aplicou-se 3,7 t/ha⁻¹ de calcário dolomítico para elevar a saturação por bases para 60% e, 30 dias após a calagem, foram formadas 6 leiras de 40 cm de altura, 4,5 m de largura, 110 m de comprimento espaçadas 4 m entre si. Em dezembro de 2019, estacas de madeira de 3 m de altura e 5 cm de diâmetro e segmentos do caule da *G. sepium* com 3 m de comprimento e 5 cm de diâmetro de caule, referentes respectivamente ao TM e TV, foram distribuídos ao longo das leiras para servir como suporte para o crescimento da pimenta-do-reino. Cada leira recebeu

duas linhas de TM ou TV, em arranjo quadrado de 2,2 m (Figura S1). As estacas de TM e os segmentos do caule de TV foram fixados a 60 cm de profundidade, em covas de 15 cmx15 cmx60 cm. As covas dos segmentos de caule de *G. sepium* receberam 100g de superfosfato simples (18% P₂O₅, FERTIPAR, São Luiz-MA, Brasil) (ISHIZUKA et al., 2004).

Em janeiro de 2020, mudas de pimenta-do-reino (cultivar Bragantina) com 2 meses de idade foram plantadas a cerca de 10 cm do TM ou TV, em covas de 40 cm x 40 cm x 40 cm (largura, comprimento e profundidade) previamente preenchidas com mistura de solo, 5L de cama de frango, 30 g de micronutrientes (FTE BR-12, fertilizante contendo: Enxofre (S): 3,9%, Boro (B): 1,8%, Cobre (Cu): 0,85%, Manganês (Mn): 2,0% Zinco (Zn): 9,0%; nutriplant, São Paulo, Brasil) e 50 g de superfosfato triplo (45% P₂O₅, FERTIPAR, São Luiz-MA, Brasil). Os tratamentos com nitrogênio consistiram na aplicação de diferentes quantidades de uréia para fornecer 10, 20, 40 e 60 g N planta⁻¹. A quantidade total de uréia para cada dose de N foi fracionada em três partes iguais e cada parte foi aplicada manualmente ao redor das plantas de pimenta-do-reino aos 30, 60 e 90 dias após o plantio. Todas as plantas de pimenta-do-reino foram adubadas igualmente com 50 g de K₂O planta⁻¹, que foi aplicado em três vezes de forma semelhante à adubação nitrogenada.

Em setembro de 2020, foi realizada uma poda de formação consistindo no corte do ramo ortotrópico a 1 m dos ápices das plantas de pimenta-do-reino para estimular a diferenciação dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos. Em dezembro de 2020, todos os brotos das plantas de *G. sepium* foram podados, restando apenas a pimenta-do-reino no caule da *G. sepium*.

Durante o período experimental (outubro de 2019 a agosto de 2021), as médias mensais de taxa de precipitação, Temperatura do ar (T °C) e dados de umidade relativa (UR) foram obtidos de uma estação climática localizada na estação meteorológica do município de Castanhal, a cerca de 14 km de distância da área experimental. O balanço hídrico climatológico descendente considerando a capacidade de água disponível no solo (CAD) de 100 mm foi estimado de acordo com De Souza Rolim et al. (1998). Os dados climáticos são apresentados na Figura 1.

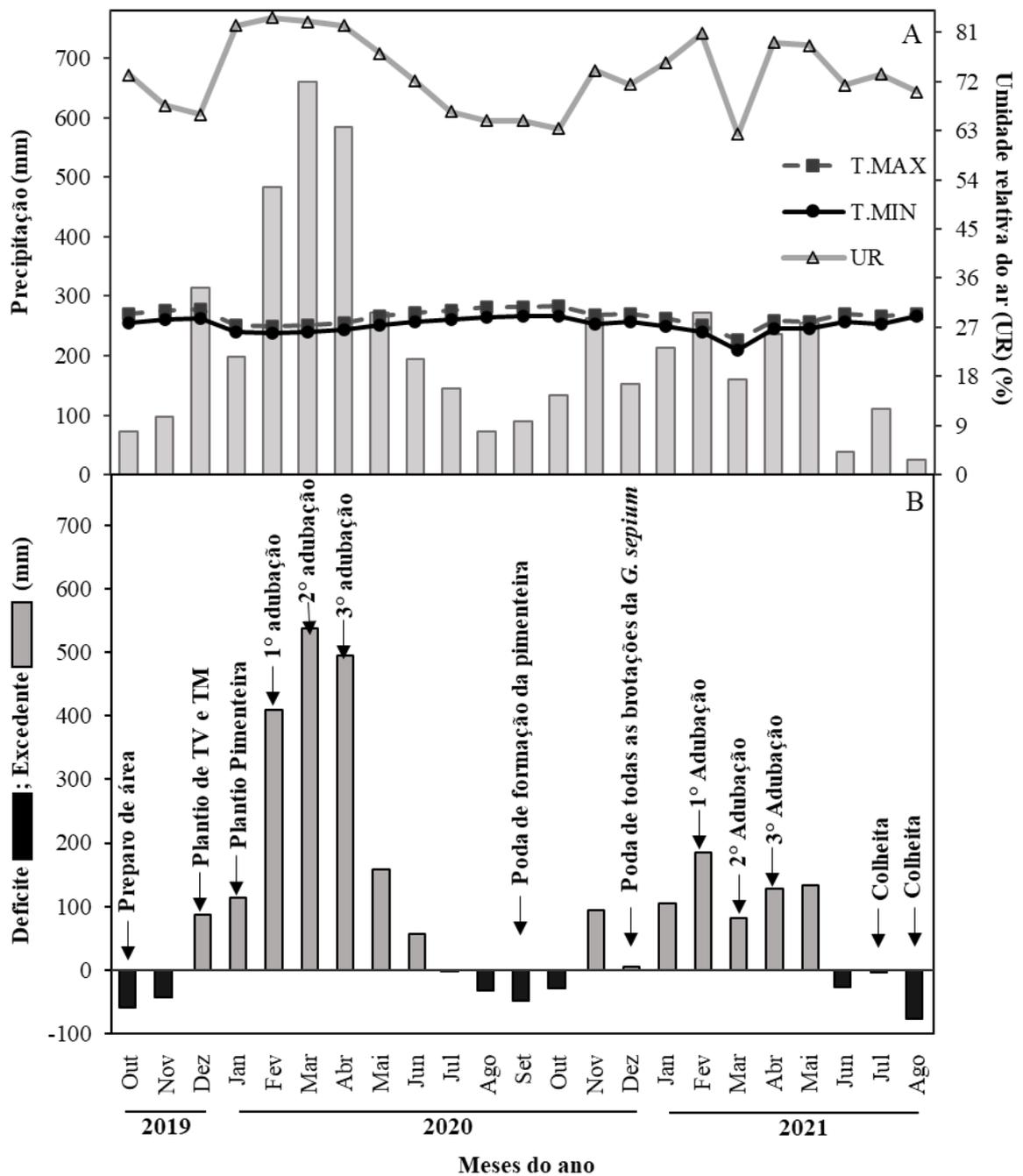


Figura 1. Temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa (UR) e precipitação (a) e extrato do balanço hídrico (b) de outubro de 2019 a agosto de 2021 em Castanhal (PA), calculado segundo Thornthwaite & Mather (1955), utilizando planilha eletrônica desenvolvida por De Souza Rolim et al. (1998). Capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm. *Setas indicam a sequência das principais atividades realizadas ao longo do experimento.

Crescimento vegetativo

A altura, o número de ramos ortotrópicos (RO) e o número de entrenós do ramo ortotrópico principal (EROP) por planta de pimenta-do-reino foram determinados em junho de 2020, setembro de 2020 e janeiro de 2021, representando, respectivamente, a morfologia da planta anterior a poda de formação (ou seja, aos 5 e 8 meses após o plantio) e imediatamente antes do primeiro período de floração (ou seja, 12 meses após o plantio).

Trocas gasosas

Os parâmetros de trocas gasosas foram medidos na primeira folha adulta a partir do broto terminal dos galhos frutíferos, no terço médio da planta nos meses de março, abril, agosto, setembro, dezembro e janeiro ao longo do primeiro ano de cultivo da pimenta-do-reino.

A taxa líquida de assimilação de CO₂ (*A*), a condutância estomática ao vapor de água (*g_s*), a transpiração (*E*) e a razão entre a concentração de CO₂ intercelular e ambiente (*C_i/C_a*) foram medidas entre 9:00 e 11:00 h da manhã usando um analisador de gás infravermelho portátil (LI -6400 XT; LICOR Biosci. Inc., Nebraska, EUA) sob concentração externa de CO₂ de 398 μmol CO₂ mol⁻¹ e sob e PAR artificial de 1000 μmol de fótons m⁻² s⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2018; SILVESTRE et al., 2017). A eficiência instantânea do uso da água (WUE) foi estimada como o quociente entre *A* e *E* (HATFIELD et al., 2011).

Produção

A produção de frutos de pimenta-do-reino foi determinada aos 19 meses após o plantio (agosto de 2021). Para isso, os frutos verdes foram colhidos manualmente e pesados para determinar o rendimento com base na matéria fresca (ou seja, kg de frutos verdes planta⁻¹). Os frutos verdes foram secos em estufa por 72 horas a 60° C e o rendimento com base na matéria seca foi determinado (ou seja, kg de frutos secos planta⁻¹).

Análise estatística

Para análise de variância (teste F), foram utilizados dados de altura, número de ramos ortotrópicos (RO) e número de entrenós do ramo ortotrópico principal (EROP) de plantas de pimenta-do-reino obtidos aos cinco (junho de 2020), oito (setembro de 2020) e 12 meses (janeiro de 2021) após o plantio e produção de frutos obtidos aos 19 meses (agosto de 2021) foram submetidos à análise de variância e regressão e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott (*P* < 0,05). Na análise de regressão, as equações de regressão que melhor se ajustaram aos dados foram escolhidas com base na significância dos coeficientes de regressão ao nível de

significância de 1% (**) e 5% (*) pelo teste F e ao maior coeficiente de determinação (r^2). Os dados de trocas gasosas (A , g_s , E , WUE, C_i/C_a) foram agrupados por período sazonais do ano em que a média dos dados de março e abril corresponderam ao inverno, a média entre agosto e setembro corresponderam ao verão e a média entre os meses de dezembro e janeiro corresponderam ao outono os dados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$) utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

3.3. Resultados

Crescimento vegetativo

Houve efeito da interação tipo de tutor versus doses de N para altura de plantas em todos os meses de avaliação, para o número de entrenós do ramo ortotrópico principal aos cinco e oito meses após o plantio e efeito isolado de doses de N para o número de entrenós do ramo ortotrópico principal em todos os meses de avaliação e para número de ramos ortotrópicos aos doze meses após o plantio (tabela 2).

Tabela 2. Valores de F e níveis de significância para os efeitos isolados do tipo de tutor (T) e doses de nitrogênio (DN) e sua interação (T e DN) no crescimento vegetativo de plantas de pimenta-do-reino no primeiro ano de cultivo.

Data de avaliação	Parâmetros	Fatores		
		T	DN	T x DN
5 meses após plantio Junho/2020	Altura de planta	464.673*	0.436 ^{ns}	4.222**
	Número de ramos ortotrópicos	3.449 ^{ns}	3.023*	0.108 ^{ns}
	Número de entrenós do ramo ortotrópico principal	13.596 ^{ns}	1.666 ^{ns}	6.942**
8 meses após plantio Setembro/2020	Altura de planta	225.537**	0.309 ^{ns}	5.256**
	Número de ramos ortotrópicos	2.813 ^{ns}	3.963*	0.301 ^{ns}
	Número de entrenós do ramo ortotrópico principal	194.678**	0.297 ^{ns}	5.106**
12 meses após plantio Janeiro/2021	Altura	0.723 ^{ns}	0.935 ^{ns}	3.109*
	Número de ramos ortotrópicos	28.00 ^{ns}	6.825*	1.520 ^{ns}
	Número de entrenós do ramo ortotrópico principal	9.633 ^{ns}	3.626*	0.300 ^{ns}

^{ns} não significativo; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

Aos cinco meses após o plantio, período de transição entre o inverno e verão, não houve diferença em altura de plantas de pimenta-do-reino cultivadas com TV e TM com fornecimento de 10 g N planta⁻¹ (Figura 2A); do mesmo modo, em termos de número de entrenós do ramo ortotrópico principal não houve diferença entre plantas com TV e TM nas doses de 10 e 20g N

planta⁻¹(Figura 2G). Entretanto, nas maiores doses de N (40 e 60 g N planta⁻¹) pimenta-do-reino com TM foi superior em 40% e 49% respectivamente em altura e em 27% e 37% respectivamente em número de entrenós do ramo principal a pimenta-do-reino com TV. Em função das doses de N, os dados de altura e de entrenós do ramo ortotrópico principal de pimenta-do-reino tanto com TM quanto com TV ajustaram-se ao modelo linear de regressão (Figura 2A, 2G). O número de ramos ortotrópicos, ainda aos cinco meses após o plantio, independentemente do tipo de tutor adotado, ajustaram-se ao modelo linear de regressão (Figura 2D).

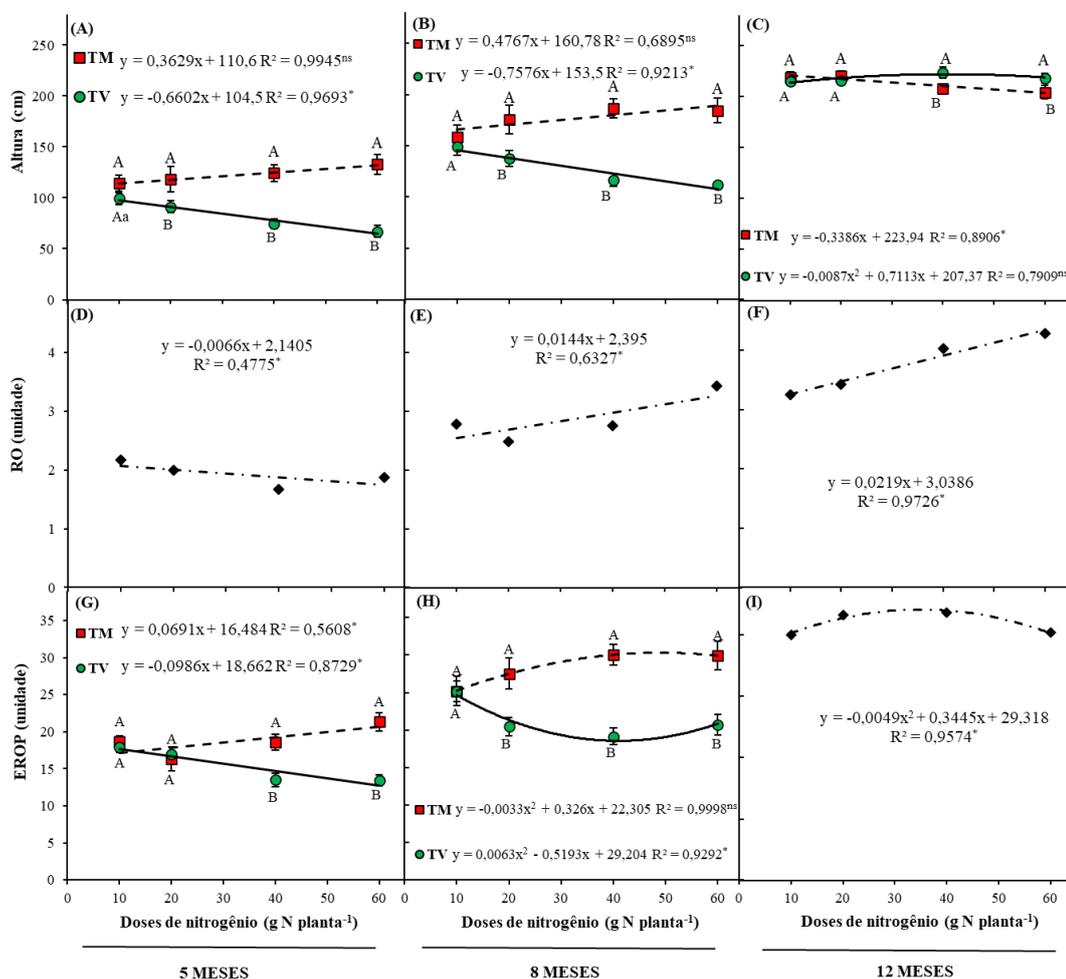


Figura 2. [A, B, C] Altura de plantas, [D, E, F] número de ramos ortotrópicos (RO) e [G, H, I] número de entrenós do ramo ortotrópico principal (EROP) aos cinco, oito e doze meses após o plantio de pimenta-do-reino em dois tipos de tutor (TM e TV) submetidas a doses de N (10, 20, 40 e 60 g N planta⁻¹). *Letras diferentes expressam diferenças significativas entre o tipo de tutor dentro de cada dose de N pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,5$).

Aos oito meses após o plantio, período imediatamente antes da poda de formação da pimenta-do-reino, tanto em termos de altura (Figura 2B) quanto em número de entrenós do ramo ortotrópico principal (Figura 2H), não houve diferença entre pimenta-do-reino com TV e

TM na dose de 10 g N planta⁻¹, no entanto nas doses de 20, 40 e 60 g N planta⁻¹ pimenta-do-reino com TM foi superior em 22% , 38% e 39% respectivamente em altura e em 26%, 36% e 31% respectivamente em número de entrenós do ramo principal a pimenta-do-reino com TV. Em função das doses de N, os dados de altura de pimenta-do-reino tanto com TM quanto com TV ajustaram-se ao modelo linear de regressão (Figura 2B), enquanto que para o número de entrenós do ramo ortotrópico principal, houve ajuste ao modelo quadrático de regressão para os dois tutores com valores máximos (31 e 22, respectivamente) obtidos na dose correspondente a 51 g N planta⁻¹ com TM e 43 g N planta⁻¹ com TV (Figura 2H). Para o número de ramos ortotrópicos, também aos oito meses após o plantio, independentemente do tipo de tutor adotado, houve resposta quadrática em função das doses de N, com valor máximo (3) obtido na dose estimada de 25 g N planta⁻¹ (Figura 2E).

Aos doze meses após o plantio, ou seja, ao final do período vegetativo e imediatamente antes ao reprodutivo (floração), altura de plantas de pimenta-do-reino com TV não diferiu das cultivadas com TM com fornecimento de 10 e 20 g N planta⁻¹ e, com fornecimento de 40 e 60 g N planta⁻¹, promoveu um aumento de 11% e 10% em altura respectivamente em relação ao cultivo com TM (Figura 2C). Quanto ao efeito das doses dentro de cada tipo de tutor, no cultivo de pimenta-do-reino em TM houve resposta linear para altura, por outro lado para cultivo com TV os dados ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão com altura máxima (211 cm) obtida na dose correspondente a 37g N planta⁻¹ (Figura 2C). Em relação ao número de entrenós do ramo ortotrópico principal os dados ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão com valor máximo (35) obtido na dose estimada de 35g N planta⁻¹ (Figura 2I) e para o número de ramos ortotrópicos, houve ajuste dos dados ao modelo linear de regressão (Figura 2F).

Produção

Houve efeito da interação tipo de tutor versus doses de N para produção de pimenta verde e efeito isolado de doses de N para pimenta seca (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de F e níveis de significância para os efeitos isolados do tipo de tutor (T) e doses de nitrogênio (DN) e sua interação (T e DN) nos parâmetros de produtividade de plantas de pimenta-do-reino.

Parâmetros	Fatores		
	T	DN	T x DN
Pimenta verde (kg/planta ⁻¹)	88.092*	47.16*	10.404**
Pimenta seca (kg/planta ⁻¹)	2.081 ^{ns}	8.494**	0.974 ^{ns}

^{ns} não significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

A produção de pimenta verde não diferiu entre o cultivo com TM e TV nas doses de 10 e 60g N planta⁻¹, entretanto, com fornecimento de 20 e 40g N planta⁻¹ a produção de pimenta verde com TV foi superior ao TM em 34% e 32%, respectivamente (Figura 3A). Levando-se em conta que a produção ótima seria atingida com 90% da máxima produção, a análise de regressão possibilitou estimar que os melhores resultados foram obtidos com a aplicação 44g N planta⁻¹ em cultivo com TV e 51g N planta⁻¹ em cultivo com TM para produção ótima de 4,98 g/planta⁻¹ e 3,34g/planta⁻¹, respectivamente. Ressalta-se que a produção ótima de pimenta verde em cultivo com TV foi 32% maior a do TM (Figura 3A).

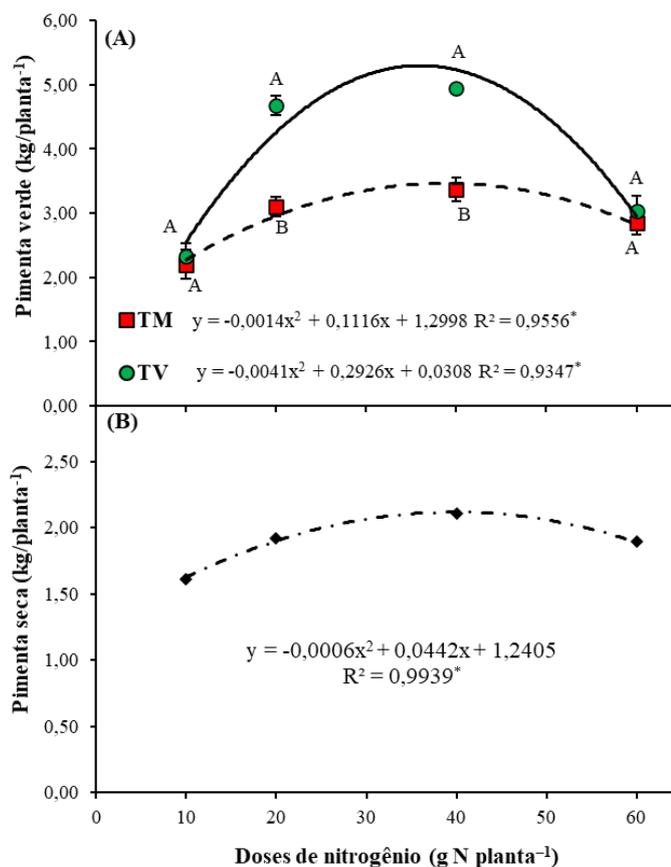


Figura 3. [A] Produção de pimenta verde e [B] pimenta seca de pimenta-do-reino em dois tipos de tutor (TM e TV) sob doses de N (10, 20, 40 e 60 g N planta⁻¹) no primeiro ano de cultivo. *Letras diferentes expressam diferenças significativas entre o tipo de tutor dentro de cada dose de N pelo teste de Scott-Knott (P<0,5).

Quanto a produção de pimenta seca, independentemente do tipo de tutor adotado, houve resposta quadrática em função das doses de N (Figura 3B). A curva de regressão mostrou que a máxima produção de pimenta preta seca (2,1kg/planta⁻¹) foi obtida com a dose estimada de 37g N planta⁻¹. A dose para a obtenção da produção ótima (90% da produção máxima) foi estimada em 18g N planta⁻¹, correspondente à produção de 1,8 kg/planta⁻¹ de pimenta seca.

Trocas gasosas

Houve efeito da interação tutor versus DN para todos os parâmetros de trocas gasosas avaliados e em todos os períodos do primeiro ano de cultivo da pimenta-do-reino (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de F e níveis de significância para os efeitos isolados do tipo de tutor (T) e doses de nitrogênio (DN) e sua interação (T e DN) nas trocas gasosas de folhas de plantas de pimenta-do-reino.

Data de avaliação	Parâmetros	Fatores		
		T	DN	T x DN
Inverno	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	51.854**	10.092**	2.959*
	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	27.868**	11.261**	19.140**
	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	7.025 ^{ns}	12.227**	10.840**
	WUE ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	60.522**	1.733 ^{ns}	3.250*
	C_i/C_a (mol mol^{-1})	4.639 ^{ns}	7.996**	3.316*
Verão	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	0.129 ^{ns}	7.570**	14.324**
	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	5.900 ^{ns}	14.997**	8.952**
	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	17.449*	6.246**	5.269**
	WUE ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	11.379*	7.566**	5.020**
	C_i/C_a (mol mol^{-1})	94.592**	12.741**	0.990**
Outono	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	21.758**	12.710**	9.321**
	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	17.393 ^{ns}	44.932**	23.262**
	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	21.963**	8.477**	7.141**
	WUE ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	7.126 ^{ns}	3.601*	10.964**
	C_i/C_a (mol mol^{-1})	0.361 ^{ns}	3.348*	18.837**

^{ns} não significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

No inverno, em todas as doses de N, os valores de A, g_s , e WUE foram maiores em média 22%, 22% e 30%, respectivamente, em plantas de pimenta-do-reino com TM em relação a TV. Em termos de E e C_i/C_a não houve diferença entre o tipo de tutor adotado nas doses de 10 e 60 g N planta⁻¹. Entretanto, nas doses de 20 e 40 g N planta⁻¹ pimenta-do-reino com TV apresentaram taxas de E e C_i/C_a maiores em 28%, 22% e 8%, 7%, respectivamente, em relação a pimenta-do-reino com TM. No cultivo de pimenta-do-reino com TV as taxas de A, g_s , E, e WUE em função das doses de N ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão enquanto os de C_i/C_a ajustaram-se ao modelo linear. No cultivo com TM os dados de todas as variáveis de trocas gasosas avaliadas ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão (Figura 4A, 4D, 4G, 4J, 4N).

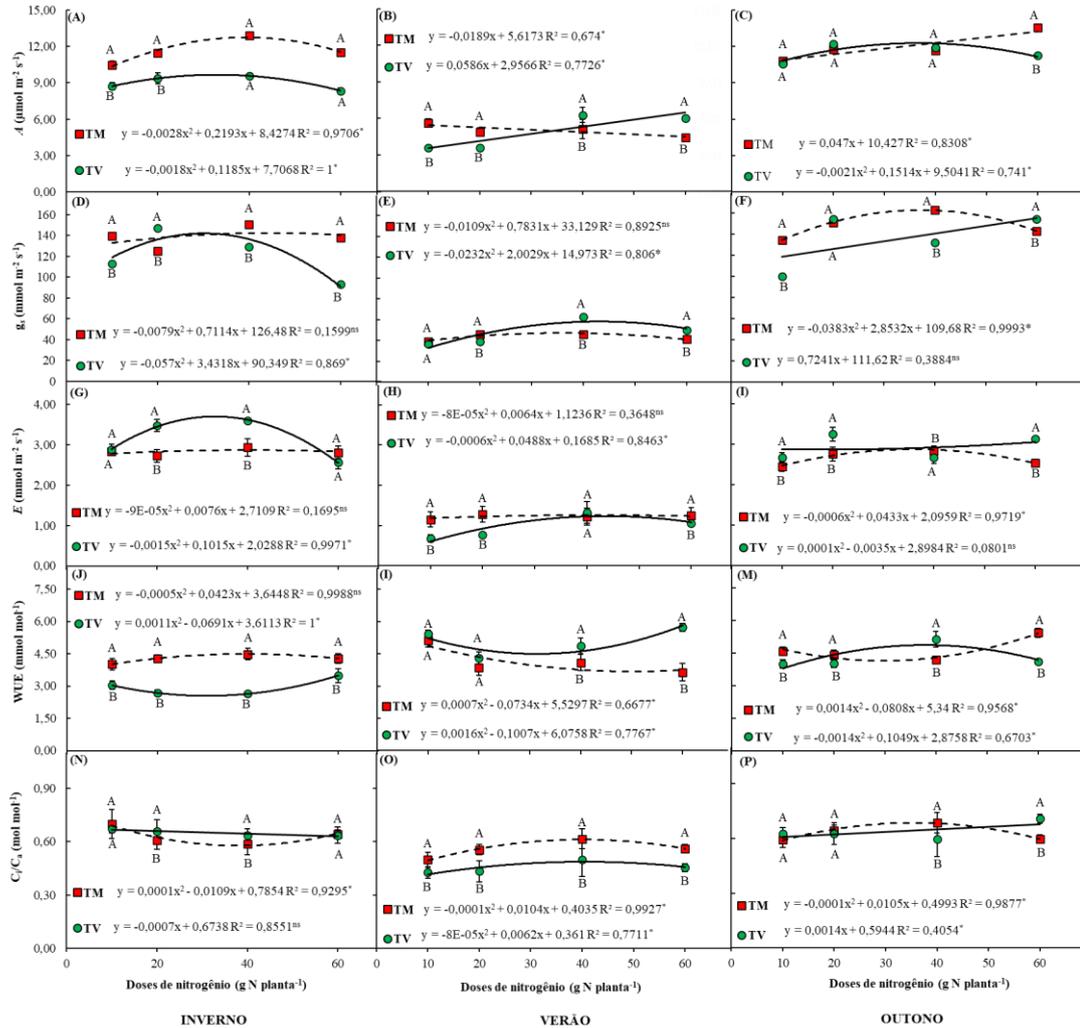


Figura 4. [A, B, C] Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), [D, E, F] condutância estomática ao vapor de água (g_s), [G, H, I] transpiração (E), [J, L, M] eficiência instantânea do uso da água (WUE), [N, O, P] relação da concentração interna e externa de CO₂ (C_i/C_a) no inverno, verão e outono de plantas de pimenta-do-reino cultivadas em dois tipos de tutor (TM e TV) sob doses de N (10, 20, 40 e 60 g N planta⁻¹) no primeiro ano de cultivo. * Letras diferentes expressam diferenças significativas entre o tipo de tutor dentro de cada dose de N pelo teste de Scott-Knott (P<0,5).

No verão, A, g_s e WUE de pimenta-do-reino com TV foram superiores em média 19%, 27%; 26%, 18%; e 16%, 36%, respectivamente, ao TM com aplicação de 40 e 60 g N planta⁻¹, por outro lado, com fornecimento de 10 e 20g N plantas⁻¹ TV não difere do TM em termos de WUE, mas é inferior ao TM em 36%, 26% e 8%, 18% em A e g_s, respectivamente, para as referidas doses. Ainda nesse período do ano, pimenta-do-reino com TM tende a uma maior transpiração com valores em média 32% superiores ao cultivo com TV, na maioria das doses de N. Em relação a C_i/C_a pimenta-do-reino com TM foi superior em média 18% a TV em todas as doses de N (Figura 4B, 4E, 4H, 4I, 4O).

No outono, em todas as doses de N, a exceção de 60g N planta⁻¹, não houve diferença entre os tutores em termos de A. Porém para g_s e WUE o TM tende a promover os maiores

valores de condutância estomática e eficiência do uso da água, na maioria das doses de N. Por outro lado, o cultivo com TV promoveu taxas de E superiores em média 8%, 15% e 19%, respectivamente, ao TM com fornecimento de 10, 20 e 60g N planta⁻¹. As taxas de C_i/C_a de pimenta-do-reino com TV e com TM não diferiram entre si com fornecimento de 10 e 20g N plantas⁻¹, porém foram maiores 13% com TM na dose de 40 g N planta⁻¹ e 16% com TV na dose de 60g N planta⁻¹(Figura 4C, 4F, 4I, 4M, 4P).

3.4. Discussão

Os resultados de altura e número de entrenós do ramo principal aos cinco e oito meses após o plantio indicam uma forte influência do TV no crescimento da pimenta-do-reino quando comparado ao cultivo com TM. Tal influência, pode ser atribuída à competição por nutrientes entre a pimenta-do-reino e o TV de *G. sepium*, uma vez que em pesquisa sobre a influência de diferentes concentrações de $\text{NO}^{-3}:\text{NH}^{4+}$ e tipos de suportes na absorção de NPK e no crescimento de plantas de pimenta-do-reino, em condição de campo, foi constatado que plantas de pimenta-do-reino, ao longo dos primeiros oito meses após o plantio, apresentaram baixa capacidade de absorver nutrientes em cultivo com TV, em função do menor comprimento e superfície radicular da pimenta-do-reino, os quais foram em média 57,99% e 55,74%, respectivamente, menores quando comparado a plantas de pimenta-do-reino cultivadas com TM, de modo que o crescimento da cultura associada a TV foi menor (ISSUKINDARSYAH et al., 2021).

G. sepium é uma planta leguminosa capaz de realizar fixação biológica de nitrogênio (FBN). No entanto, fertilização nitrogenada em quantidades superiores a 30 kg N ha⁻¹ (equivalente a 12g N planta⁻¹) pode retardar ou inibir o processo de nodulação em leguminosas (Da SILVA et al., 2011). Portanto, nessa ocasião a leguminosa tende a absorver o N disponível da solução do solo e a competir com a pimenta-do-reino pelo nutriente afetando o seu crescimento vegetativo. No entanto, ao longo do cultivo o N disponível na solução do solo proveniente da fertilização nitrogenada tende a diminuir, portanto nessa situação a *G. sepium* tende a nodular e realizar FBN e, ao realizar a FBN cria-se na rizosfera condições que promovem aumento no reservatório de N inorgânico facilmente mineralizável (DINESH et al. 2010) o que poderia beneficiar tanto a *G. sepium* quanto a pimenta-do-reino o que, pelo menos em parte, explicaria os resultados observados de altura aos doze meses após o plantio com a superioridade da pimenta-do-reino com TV na menor dose de N (10g N planta⁻¹) e ligeira semelhança ao cultivo com TM nas demais doses de N. Em geral, a pimenta-do-reino respondeu

positivamente ao fornecimento de N, sendo recomendáveis doses variando de 25 g N planta⁻¹ a 37 g N planta⁻¹ para possibilitar máximo crescimento vegetativo. O N é o nutriente mais exigido pela pimenta-do-reino, em termos de extração de nutrientes a cultura segue a seguinte ordem: N > Ca > K > Mg > P (CHIBA & TERADA, 1976; VELOSO et al., 1999).

Os resultados de produção de pimenta-do-reino indicaram que a aplicação de doses crescentes de N favoreceu a obtenção das melhores respostas das plantas de pimenta-do-reino tanto em TV quanto em TM. Depreende-se ainda que a adoção da TV como alternativa sustentável ao cultivo com TM é promissora, uma vez que em termos de produção de pimenta verde e pimenta seca TV promoveu desempenho semelhante ou superior a plantas de pimenta-do-reino cultivadas com TM, na maioria das doses de N aplicadas. Ademais, a produção média de pimenta verde e seca pode ser considerada satisfatória para um primeiro ano de cultivo da cultura, quando comparado a outros estudos como o de Oliveira et al. 2007 que em pesquisas realizadas no Estado da Paraíba (região nordeste do Brasil) com doses de esterco bovino e diferentes genótipos de pimenta-do-reino, obtiveram as seguinte produtividades máximas de pimenta verde e seca, respectivamente, por cultivar: bragantina (1.012 g/planta⁻¹; 358 g/planta⁻¹), Iaçará (11.269 g/planta⁻¹ e 793 g/planta⁻¹) e Cingapura (627 g/planta⁻¹ e 204 g/planta⁻¹). Ademais, Rostiana et al. 2017 em estudo conduzido por dois anos em East Kalimantan, província da Indonésia, alcançaram uma produção média de 2,94 k g/planta⁻¹ de pimenta verde, valor este bem inferior ao obtido na presente pesquisa, sobretudo se comparado ao cultivo com TV. Vale ressaltar que os dados de produção indicaram uma sinalização de boa produção nos anos subsequentes pois a obtida na presente pesquisa corresponde a primeira produção do ciclo produtivo da cultura, e tal ciclo não reflete o potencial máximo de produção, o qual é atingido a partir do terceiro ano de cultivo.

Ao longo do primeiro ano de cultivo da pimenta-do-reino ficou claro o efeito do tipo de tutor adotado nos parâmetros de trocas gasosas das plantas, sobretudo com as mudanças sazonais, com consequente efeito no crescimento vegetativo da cultura. A pimenta-do-reino, quando cultivada em TM, não compete por nutrientes ou luz com o suporte, diferentemente do que acontece em cultivo com TV, sobretudo nos primeiros meses após o plantio (ISSUKINDARSYAH et al., 2021). Nesse contexto, a competição por nutrientes aliada ao ligeiro sombreamento ocasionado pelas brotações da *G. sepium* pode ter ocasionado tanto a diminuição de absorção de nutrientes quanto a quantidade de radiação absorvida pelo aparato fotossintético e, conseqüentemente, ter a reduzido a conversão de energia luminosa em energia

química afetando as variáveis fisiológicas, de crescimento e desenvolvimento da pimenteira ao longo dos primeiros meses de cultivo.

As trocas gasosas estão intimamente associadas a abertura e fechamento dos estômatos das folhas, ou seja, a condutância estomática da planta (GRISI, 2008), desse modo os maiores valores de A nas plantas de pimenta-do-reino cultivadas em TM no inverno, pelo menos em parte, deve-se aos maiores valores de g_s observados no cultivo em TM nesse período. Do mesmo modo, no outono, os valores de A próximos entre TV e TM podem ser reflexo dos resultados de g_s os quais foram ligeiramente semelhantes entre eles, sobretudo nas doses correspondes a 10g N plant^{-1} e 20g N plant^{-1} .

Tendo em vista que a WUE é obtida por meio da relação de A/E , era de se esperar que valores próximos de A e E entre os suportes refletiriam em taxas de WUE semelhantes entre eles. O que, pelo menos em parte, pode ter contribuído para os resultados semelhantes entre os dois tutores em termos de crescimento em altura observados ao final do primeiro ano de cultivo.

Em geral, as taxas de A , g_s e E , decresceram expressivamente no verão, período em que houve déficit hídrico (Figura 1B), tanto em pimenta-do-reino cultivada com TV quanto com TM. No entanto, ressalta-se que pimenta-do-reino quando cultivada com TV, por ocasião do déficit hídrico, apresentou parâmetros de trocas gasosas superiores, sobretudo nas maiores doses de N (40g N plant^{-1} e 60g N plant^{-1}), comparativamente ao cultivo com TM. O metabolismo do N tem um papel importante na tolerância à seca, visto que os processos fisiológicos das plantas responsivos ao déficit hídrico envolvem o metabolismo do N, uma vez que a maioria dos solutos e proteínas produzidos durante uma resposta ao estresse são compostos contendo N, como aminoácidos, amidas, betaínas (WANG et al., 2017). Embora o déficit hídrico altere a capacidade de absorção do N, a escassez de água no solo tem menor impacto na assimilação de N em plantas bem supridas com esse nutriente, pois em qualquer nível de déficit as plantas com alta nutrição nitrogenada apresentaram maior concentração foliar de aminoácidos solúveis e de proteínas solúveis totais (ROCHA, 2019). Assim, a maior disponibilidade e absorção de nitrogênio do solo pode atenuar os efeitos deletérios decorrentes do déficit hídrico. Desse modo, a partir dos resultados da presente pesquisa infere-se que, pelo menos em parte, o cultivo com tutor vivo de *G. sepium* associado ao fornecimento de quantidades adequadas de N pode beneficiar a pimenta-do-reino em períodos do ano de menor regime hídrico.

Oliveira et al. (2018) ao avaliar respostas fisiológicas da fotossíntese em plantas de pimenta-do-reino do em consorcio com seringueiras observou que no verão, houve menor temperatura e maior valor de A nos tratamentos com seringueiras distantes 2 e 5 metros da pimenteira, quando comparados aos valores de A em plantas a pleno sol, sugerindo que durante os períodos mais quentes do ano a sombra pode melhorar o funcionamento fotossintético de pimenta-do-reino, conforme relatado anteriormente para outras espécies (DAI et al., 2009; ZHU et al., 2012). É bem conhecido que o sombreamento causa mudanças microclimáticas em muitas culturas agrícolas, especialmente em plantas localizadas nas linhas mais próximas das árvores, resultando em alterações fisiológicas e de crescimento (PARTELLI et al. 2014; OLIOSI et al., 2016), o que concorda com os achados do presente trabalho visto que a TV em função da sua copa, promove certo sombreamento da pimenta-do-reino.

Além dos benefícios observados na presente pesquisa, a nível de crescimento de plantas, trocas gasosas e produção de frutos, adoção da *G. sepium* como suporte para a pimenta-do-reino tende a diminuir o custo de implantação da lavoura, traz inúmeros benefícios para o meio ambiente como: contribuição para conservação da biodiversidade, pois com a utilização da *G. sepium* no sistema de produção, reduz-se a pressão da exploração de espécies arbóreas ameaçadas de extinção que são rotineiramente utilizadas como suporte. Tem efeitos positivo na recuperação ambiental, uma vez que os sistemas (áreas abertas, florestas primárias e secundárias, áreas de preservação permanentes-APPs, entre outros) ao redor das áreas de abrangência da tecnologia nas propriedades sofrem menor impacto. Além disso, por se tratar de espécie arbórea e sequestrar carbono da atmosfera o cultivo de pimenta-do-reino em *G. sepium* pode gerar crédito de carbono para o produtor, o qual terá possibilidade de acesso e mais e novas de linhas de crédito frente as instituições financeiras.

3.5. Conclusão

Há resposta positiva de nitrogênio com relação a produção de grãos verdes de pimenta do reino com a aplicação de 44 e 51g N planta⁻¹, para TV e TM, respectivamente. A produção ótima de pimenta verde em TV foi maior em 32% ao TM.

A produção de pimenta seca independe do tipo de tutor adotado, mas é positivamente influenciada pelo fornecimento de nitrogênio. A dose para a obtenção da produção ótima (90% da produção máxima) de pimenta seca foi estimada em 18g N planta⁻¹, correspondente à produção de 1,8 kg/planta⁻¹ de pimenta seca.

Pimenta-do-reino com TM se destacam em termos de crescimento inicial; entretanto ao final do primeiro ano de cultivo pimenta-do-reino com TV tende a apresentar crescimento vegetativo ligeiramente semelhante ao cultivo com TM.

Os parâmetros de trocas gasosas de pimenta-do-reino com TM são maiores em relação ao TV, sobretudo no inverno. Por outro lado, no verão o desempenho fisiológico é significativamente afetado com expressivo decréscimo de todas as variáveis avaliadas, sobretudo em cultivo com TM.

REFERÊNCIAS

Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., Sparovek, G., (2013) Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*. <https://dx.doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>.

Brasil EC, Cravo MdaS, Matos IdeJ (2020) Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará.e. -2.ed.-Brasilia, DF; Embrapa.

Chiba, M., & Terada, S. (1976). On the Optimum Amount of Fertilizer Based upon the Amount of Nutrients Absorbed by pepper Plant in Amazonia Region. *Japanese Journal of Tropical Agriculture*, 20(1), 14-21. <https://doi.org/10.11248/jsta1957.20.14>

da Silva, A. F., de Carvalho, M. A. C., Schoninger, E. L., Monteiro, S., Caione, G., & Santos, P. A. (2011). Doses de inoculante e nitrogênio na semeadura da soja em área de primeiro cultivo. *Bioscience Journal*, 27(3). <http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/8067>

Dai Y, Shen Z, Liu Y, Wang L, Hannaway D, Lu H (2009) Effects of shade treatments on the photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence, and chlorophyll content of *Tetrastigma hemsleyanum* Diels et Gilg. *Environmental and experimental botany*, 65(2-3), 177-182. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envexpbot.2008.12.008>

Dalazen JR, Gontijo I, Paye HDS, Valani GP, Tomaz MA, Partelli FL (2020) Macronutrient dynamics in leaves and bunches of black pepper. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01780>

de Menezes, A. J. E. A., Homma, A., Ishizuka, Y., Kodama, N. & Kodama, E. (2013). Gliricídia como tutor vivo para pimenta-do-reino. Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E).

de Souza Rolim G, Sentelhas PC, Barbieri V (1998) Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Rev. Bras. Agrometeorol*, 6, 133-137.

Dinesh R, Srinivasan V, Hamza S, Parthasarathy, V A, & Aipe K C (2010) Physico-chemical, biochemical and microbial properties of the rhizospheric soils of tree species used as supports for black pepper cultivation in the humid tropics. *Geoderma*, 158(3-4), 252-258. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.04.034>

dos Santos HG, Jacomine PKT, Dos Anjos LHC, De Oliveira VA, Lumbreras JF, Coelho, MR, Cunha T J. F (2018) Sistema brasileiro de classificação de solos. Brasília, DF: Embrapa.

Duarte, M (2004). Cultivo da pimenteira-do-reino na Região Norte. Embrapa Amazônia Oriental-Sistema de Produção (INFOTECA-E).

Ferreira DF (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e agrotecnologia*, v. 35, p. 1039-1042

Grisi, F. A., Alves, J. D., Castro, E. M. D., Oliveira, C. D., Biagiotti, G., & Melo, L. A. D. (2008). Avaliações anatômicas foliares em mudas de café'catuaí'e'siriema'submetidas ao estresse hídrico. *Ciência e Agrotecnologia*, 32, 1730-1736. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542008000600008>

Gunaratne W D L, Heenkenda A P (2004) Use of gliricidia as a source of green manure for pepper (*Piper nigrum* L.). *Focus Pepper* 1:63–73.

Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., ... & Wolfe, D. (2011). Climate impacts on agriculture: implications for crop production. *Agronomy journal*, 103(2), 351-370. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0303>

IBGE (2020) - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pimenta-do-reino/br>

Ishizuka Y, Kato A K, Conceição H E O, Duarte M de L R (2004) Sistema de cultivo sombreado. In: DUARTE, M. de L. R. Cultivo da pimenteira-do-reino na Região Norte. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, p. 83-89. (Embrapa Amazônia Oriental. Sistemas de produção, 1).

Issukindarsyah, I., Sulistyaningsih, E., Indradewa, D., & Putra, E. T. S. (2021). The Effect of Ammonium Nitrate Ratio and Support Types on the NPK Uptake and Growth of Black Pepper (*Piper nigrum* L.) in Field Conditions. *Poljoprivreda*, 27(2), 25-33. <http://dx.doi.org/10.13057/biodiv/d210502>

Kumar, B. M., Sasikumar, B., & Kunhamu, T. K. (2021). Agroecological aspects of black pepper (*Piper nigrum* L.) cultivation in Kerala: a review. *AGRIVITA, Journal of Agricultural Science*, 43(3), 647-663. <https://agrivita.ub.ac.id/index.php/agrivita/article/view/3005>

Kunhamu, T. K., Aneesh, S., Mohan Kumar, B., Jamaludheen, V., Raj, A. K., & Niyas, P. (2016). Biomass production, carbon sequestration and nutrient characteristics of 22-year-old support trees in black pepper (*Piper nigrum* L.) production systems in Kerala, India. *Agroforestry Systems*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-016-0054-5>

Nair, P K P (2011) 1 - The Agronomy and Economy of Black Pepper (*Piper nigrum* L.)—The “King of Spices”, Editor(s): K.P. Prabhakaran Nair, *Agronomy and Economy of Black Pepper and Cardamom*, Elsevier, 2011, Pages 1-108. <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-391865-9.00001-3>

Oliosi G, Giles JAD, Rodrigues WP, Ramalho JC, Partelli FL (2016) Microclimate and development of 'Coffea canephora' cv. Conilon under different shading levels promoted by Australian cedar ('*Toona ciliata*' M. Roem. var. *Australis*). *Australian Journal of Crop Science*, 10(4), 528-538. : <http://dx.doi.org/10.21475/ajcs.2016.10.04.p7295x>.

Oliveira MG, Oliosi G, Partelli FL, Ramalho JC (2018) Physiological responses of photosynthesis in black pepper plants under different shade levels promoted by intercropping with rubber trees. *Ciência e Agrotecnologia*, 42, 513-526. <http://dx.doi.org/10.1590/1413-70542018425020418>

Oliveira, A. P., Alves, E. U., Silva, J. A., Alves, A. U., Oliveira, A. N. P., Leonardo, F. A., ... & Cruz, I. S. (2007). Produtividade da pimenta-do-reino em função de doses de esterco bovino. *Horticultura Brasileira*, 25, 408-410.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. FAO. FAOSTAT. Data. Production. Crops. 2020. Available in: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>

Partelli, F. L., Araújo, A. V., Vieira, H. D., Dias, J. R. M., Menezes, L. F. T. D., & Ramalho, J. C. (2014). Microclimate and development of Conilon coffee intercropped with rubber trees. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 49, 872-881. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2014001100006>

Rocha, B. C. P. (2019). Metabolismo do nitrogênio em cafeeiro submetido a déficit hídrico e doses de nitrato.

Rodrigues, S D M, Poltronieri, M, de Lemos, O F, Araujo, S, & Both, J (2019). Avaliação de cultivares de pimenteira-do-reino (*Piper nigrum*) em dois tipos de tutores no município de Igarapé-Açu, Pará. *Embrapa Amazônia Oriental-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E)*.

Rodrigues, W. P., Martins, M. Q., Fortunato, A. S., Rodrigues, A.P., Semedo, J.N., Simões-Costa, M. C., & Ramalho, J. C. (2016). Long-term elevated air [CO₂] strengthens photosynthetic functioning and mitigates the impact of supra-optimal temperatures in tropical *Coffea arabica* and *C. canephora* species. *Global Change Biology*, 22(1), 415-431. <https://doi.org/10.1111/gcb.13088>

Salam, M. A., Mohankumaran, N., Jayachandran, B. K., Mammen, M. K, Sreekumar, D., & Satheesh, B. K. (1991). Kerala home gardens: thirty one species support black pepper vines. *Agroforest Today* 5:16–19.

Sim, E. S. (1971). Dry matter production and major nutrient contents of black pepper (*Piper nigrum*, L.) in Sarawak. *Malaysina Agricultural Journal*, v.48, n.2, p.73-93.

Thornthwaite, C. W., & Mather, R. J. (1955). *The water balance*. New Jersey: Laboratory of Climatology, v. 8, , 104 p. (Publication in Climatology).

Veloso, C. A. C., Carvalho, E. J. M. (1999). Absorção e extração de alguns nutrientes pela cultivar 'guajarina' de pimenta-do-reino. *Scientia Agricola*, 56, 443-447. <https://doi.org/10.1590/S0103-90161999000200026>

Veloso, CAC, Carvalho EJM, Malavolta E, Muraoka T (2000) Resposta de cultivares de pimenta-do-reino aos nutrientes NPK em um Latossolo Amarelo da Amazônia Oriental. *Scientia Agricola*, 57, 343-347.

Wang, H., Yang, Z., Yu, Y., Chen, S., He, Z., Wang, Y., ... & Zhang, Z. (2017). Drought enhances nitrogen uptake and assimilation in maize roots. *Agronomy Journal*, 109(1), 39-46. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.01.0030>

Zhu, J. J., Qiang, P. E. N. G., Liang, Y. L., Xing, W. U., & Hao, W. L. (2012). Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, and fruit yield in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60083-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60083-5)

**CAPÍTULO 3 - TROCAS GASOSAS FOLIARES, CRESCIMENTO VEGETATIVO E
PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE PIMENTA-DO-REINO USANDO *GLIRICIDIA*
SEPIUM COMO SUPORTE VIVO SOB DOSES DE POTÁSSIO.**

4. TROCAS GASOSAS FOLIARES, CRESCIMENTO VEGETATIVO E PRODUTIVIDADE DE PLANTAS DE PIMENTA-DO-REINO USANDO *GLIRICIDIA SEPIUM* COMO SUPORTE VIVO SOB DOSES DE POTÁSSIO.

RESUMO

No cultivo convencional da pimenteira-do-reino (*Piper nigrum* L.) utiliza-se tutor proveniente de madeira de lei para conduzir o crescimento da planta. No entanto, para implantação de um hectare de pimenta-do-reino é necessário a retirada de 25 a 30 árvores da mata nativa para produção de estacas. Nesse contexto, destaca-se o cultivo de pimenta-do-reino em tutor vivo de gliricídia (*Gliricídia sepium* L.), o qual tem sido objeto de investigação por ser alternativa sustentável para produção de pimenta-do-reino. Porém, há carência de informações técnicas sobre os efeitos deste tipo de tutor na fisiologia, crescimento vegetativo e produção da pimenteira-do-reino, haja vista a hipótese de competição entre essas duas espécies nutrientes. Assim, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar a influência do tipo de tutor adotados nas trocas gasosas, vegetativo e produção de pimenta-do-reino sob doses de potássio ao longo do primeiro ano de cultivo submetidas a doses de potássio (K). O experimento foi conduzido no município de Castanhal-PA, em condições de campo, em delineamento de blocos ao acaso, com os tratamentos arranjados em parcelas subdivididas, com 3 repetições. Os tratamentos foram: parcela: dois tipos de tutor (tutor de madeira de lei (TM) e tutor vivo de *G. sepium* (TV)); subparcelas: quatro doses K (15, 30, 60 e 90g K₂O planta⁻¹). Ao final do primeiro ano de cultivo, pimenteira-do-reino com TV de *G. sepium* apresenta crescimento ligeiramente semelhante a plantas cultivadas com TM. A produção de pimenta verde e seca é favorecida em cultivo com TM. O desempenho fotossintético de plantas de pimenta-do-reino, no verão, é melhorado em cultivo com TV de *G. sepium*.

Palavras-chave: fotossíntese, adubação potássica, *G. sepium*.

LEAF GAS EXCHANGE, VEGETATIVE GROWTH AND PRODUCTIVITY OF BLACK PEPPER PLANTS USING *GLIRICIDIA SEPIUM* AS A LIVE SUPPORT UNDER POTASSIUM DOSES.

ABSTRACT

In the conventional cultivation of black pepper (*Piper nigrum* L.) a tutor from hardwood is used to guide the growth of the plant. However, for the implantation of one hectare of black pepper it is necessary to remove 25 to 30 trees from the native forest to produce stakes. In this context, the cultivation of black pepper in live tutor of gliricidia (*Gliricidia sepium* L.) stands out, which has been the object of investigation for being a sustainable alternative to produce black pepper. However, there is a lack of technical information about the effects of this type of tutor on the physiology, vegetative growth and production of black pepper, given the hypothesis of competition between these two nutrient species. Thus, the objective of the present research was to evaluate the influence of the type of tutor adopted in the gas exchange, vegetative and production of black pepper under doses of potassium during the first year of cultivation submitted to doses of potassium (K). The experiment was carried out in the municipality of Castanhal-PA, under field conditions, in a randomized block design, with the treatments arranged in split plots, with 3 replications. The treatments were: plot: two types of tutor (hardwood tutor (WT) and live tutor of *G. sepium* (LT)); subplots: four K doses (15, 30, 60 and 90g K₂O plant⁻¹). At the end of the first year of cultivation, black pepper plants with *G. sepium* TV show growth slightly like plants cultivated with WT. The production of green and dry pepper is favored in cultivation with WT. The photosynthetic performance of black pepper plants, in summer, is improved in *G. sepium* cultivation.

Keywords: photosynthesis, potassium fertilization, *G. sepium*.

4.1 Introdução

A Pimenta-do-Reino (*Piper nigrum* L.), conhecida como pimenta-preta, possui um alto valor no mercado internacional pois é a principal especiaria utilizada como condimento no preparo e processamento de alimentos na indústria alimentícia (NAIR, 2011). Tratando-se de uma planta trepadeira, precisa de um apoio, um tutor para conduzir e direcionar seu crescimento. No cultivo convencional a pimenta-do-reino é conduzida em estacões de madeira de lei, porém para cada hectare de pimenta-do-reino cultivado é necessário a supressão de 25 a 30 árvores de floresta nativa para a produção dos estacões (De MENEZES et al., 2013).

Nos principais países produtores de pimenta-do-reino Índia, Brasil, Vietnã, Indonésia, Malásia e Sri Lanka, uma variedade de tutores são utilizados em alternativa ao estacão. Porém, nem todos são ideais. Em Kerala, Índia, mais de 31 espécies de árvores foram identificadas como tutor vivo para pimenta-do-reino em sistemas agroflorestais caseiros (SALAM et al., 1991). Entre estas, as mais utilizadas são *Ailanthus triphysa* (Dennst.) Alston., *Erythrina variegata* L., *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud. e *Garuga pinnata* Roxb. (GUNARATNE & HEENKENDA, 2004; KUNHAMU et al., 2016). Além destas, estacas não vivas feitas de granito ou concreto armado são usadas para apoiar a pimenta-do-reino na Indonésia. Enquanto a grevilha (*Grevillea robusta* A.Cunn. Ex R.Br), gliricídia (*Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.) e para alguma extensão de *Erythrina variegata* L., são comumente usados no Sri Lanka, Malásia e Filipinas (Dinesh et al., 2010). No Brasil, além dos estacões de madeira, utiliza-se Eucalipto (*Eucalyptus*) tratado, árvore de Neen (*Azadirachta integrifoliola* Merr), moringa (*Moringa oleifera* Lam) e *G. sepium* (De MENEZES et al., 2013). Dentre estas, destaca-se o cultivo em *G. sepium* apontada como uma das mais promissora para o cultivo de pimenta-do-reino.

A *G. sepium* é uma espécie leguminosa de rápido crescimento, alta capacidade de regeneração, resistente à seca e de fácil propagação (KIILL & DRUMOND. 2001). É uma tecnologia de baixo custo que reduz em até 30% o custo de implantação de um hectare de pimenta-do-reino, pois uma estaca da *G. sepium* custa cerca de R\$ 2,50 enquanto o estacão de madeira de lei custa em média R\$ 15,00, além da dificuldade para obtenção dos estacões, tendo em vista a legislação ambiental que protege as espécies arbóreas (De MENEZES et al., 2013; RODRIGUES et al., 2019). Outra vantagem do uso da *G. sepium* é a melhoria na qualidade do solo; aumento do teor de matéria orgânica, redução do impacto das águas, ventos e insolação, contribuição para aporte de nitrogênio por se tratar de uma leguminosa e realizar fixação

biológica de nitrogênio e maior ciclagem de nutrientes (YADAV et al., 2020; DINESH et al., 2010).

A pimenta-do-reino é altamente exigente em macronutrientes, sendo o potássio (K) o segundo macronutriente mais exigido pela cultura (VELOSO et al., 2000; DALAZEN et al., 2020). O potássio é um nutriente essencial para as plantas e é necessário em grandes quantidades para o adequado crescimento e reprodução das culturas (KARTHIKA et al., 2018). Desempenha um papel importante na regulação da água nas plantas (osmorregulação); tanto a absorção de água pelas raízes das plantas quanto sua perda pelos estômatos são afetadas, bem como melhora a resistência à seca (ANDERSEN et al., 1992; STUDER, 1993; SANGAKKARA et al., 2001). É essencial em quase todas as etapas da síntese de proteínas (ROZOV et al., 2019). O potássio desempenha vários papéis nas plantas, como ativação enzimática, síntese de proteínas, absorção e transporte de íons, fotossíntese e respiração (WARAICH et al., 2011). As folhas de *G. sepium* contêm cerca 1,8% de K e essas folhas se decompõem relativamente rápido, fornecendo K para a cultura associadas a *G. sepium* (YADAV et al., 2020) o que pode beneficiar a pimenta-do-reino associada a *G. sepium*.

Portanto, a presente pesquisa objetiva avaliar pela primeira vez o efeito do uso de tutor vivo de *G. sepium* nas trocas gasosas, crescimento vegetativo e produção de pimenta-do-reino submetidas a doses potássio ao longo do primeiro ano de cultivo.

4.2. Material e métodos

Local do experimento

O experimento foi conduzido em uma área de cerca de 0,65 ha localizada no município de Castanhal (1°17'40" S, 47°49'35" W; e 47 m de altitude acima do nível do mar), estado do Pará, norte do Brasil. O clima local é do tipo Aw segundo a classificação de Köppen caracterizado por um clima chuvoso com temperatura média anual de 26°C, máxima e mínima de 28 e 22°C respectivamente, valores de umidade relativa do ar que variam entre, 95 e 79% e média anual de precipitação em torno de 2500 mm (ALVARES et al., 2013). O solo do local experimental é um Latossolo Amarelo Distrófico (dos SANTOS et al., 2018), cujas propriedades físicas e químicas na camada de 0 – 20 cm de profundidade constam na Tabela 1.

Tabela 1 – Características químicas e física de amostra de solo coleta na profundidade de 0-20 cm antes da instalação do experimento no município de Castanhal, estado do Pará, Brasil.

pH (H ₂ O)	P	K	Ca	Ca+Mg	Al	H+Al	M.O	Areia	Silte	Argila
	----- mg dm ⁻³ -----		----- cmol _c dm ⁻³ -----			----- g kg ⁻¹ -----				

Tratamentos e delineamento experimental

O experimento foi montado em blocos, no qual os tipos de suporte de crescimento (estacas de madeira de lei (TM), como suporte inerte e *G. sepium* (TV), como suporte vivo) foram distribuídos nas parcelas e doses de potássio (15, 30, 60 e 90 g K₂O planta⁻¹) nas subparcelas, com três repetições por cada combinação de tratamento. Cada repetição foi formada por uma linha de plantio contendo 4 plantas, perfazendo um total de 12 plantas por combinação de tratamento e um total de 96 plantas no experimento como um todo.

Instalação e condução do experimento

Em setembro de 2019 iniciou-se o preparo da área experimental com limpeza, aração e gradagem. Aplicou-se 3,7 t/ha⁻¹ de calcário dolomítico para elevar a saturação por bases para 60% e, 30 dias após a calagem, foram formadas 6 leiras de 40 cm de altura, 4,5 m de largura, 110 m de comprimento espaçadas 4 m entre si. Em dezembro de 2019, estacas de madeira de 3 m de altura e 5 cm de diâmetro e segmentos do caule da *G. sepium* com 3 m de comprimento e 5 cm de diâmetro de caule, referentes respectivamente ao TM e TV, foram distribuídos ao longo do leiras para servir como suporte para o crescimento da pimenta-do-reino. Cada leira recebeu duas linhas de TM ou TV, em arranjo quadrado de 2,2 m. As estacas de TM e os segmentos do caule de TV foram fixados a 60 cm de profundidade, em covas de 15 cmx15 cmx60 cm. As covas dos segmentos de caule de *G. sepium* receberam 100g de superfosfato simples (18% P₂O₅, FERTIPAR, São Luiz-MA, Brasil) (ISHIZUKA et al., 2004).

Em janeiro de 2020, mudas de pimenta-do-reino (cultivar Bragantina) com 2 meses de idade foram plantadas a cerca de 10 cm do TM ou TV, em covas de 40 cm x 40 cm x 40 cm (largura, comprimento e profundidade) previamente preenchidas com mistura de solo, 5L de cama de frango, 30 g de micronutrientes (FTE BR-12, fertilizante contendo: Enxofre (S): 3,9%, Boro (B): 1,8%, Cobre (Cu): 0,85%, Manganês (Mn): 2,0% Zinco (Zn): 9,0%; nutriplant, São Paulo, Brasil) e 50 g de superfosfato triplo (45% P₂O₅, FERTIPAR, São Luiz-MA, Brasil). Os tratamentos com potássio consistiram na aplicação de diferentes quantidades de cloreto de potássio (KCl) para fornecer 15, 30, 60 e 90g K₂O planta⁻¹. A quantidade total de KCl para cada dose de K foi fracionada em três partes iguais e cada parte foi aplicada manualmente ao redor das plantas de pimenta-do-reino aos 30, 60 e 90 dias após o plantio. Todas as plantas de

pimenta-do-reino foram adubadas igualmente com 20g N planta⁻¹, que foi aplicado em forma de ureia em três vezes de forma semelhante à adubação potássica.

Em setembro de 2020, foi realizada uma poda de formação consistindo no corte do ramo ortotrópico a 1 m dos ápices das plantas de pimenta-do-reino para estimular a diferenciação dos ramos ortotrópicos e plagiotrópicos. Em dezembro de 2020, todos os brotos das plantas de *G. sepium* foram podados, restando apenas a pimenta-do-reino no caule da *G. sepium*.

Durante o período experimental (outubro de 2019 a agosto de 2021), as médias mensais de taxa de precipitação, Temperatura do ar (T °C) e dados de umidade relativa (UR) foram obtidos de uma estação climática localizada na estação meteorológica do município de Castanhal, a cerca de 14 km de distância da área experimental. O balanço hídrico climatológico descendente considerando a capacidade de água disponível no solo (CAD) de 100 mm foi estimado de acordo com De Souza Rolim et al. (1998). Os dados climáticos são apresentados na Figura 1.

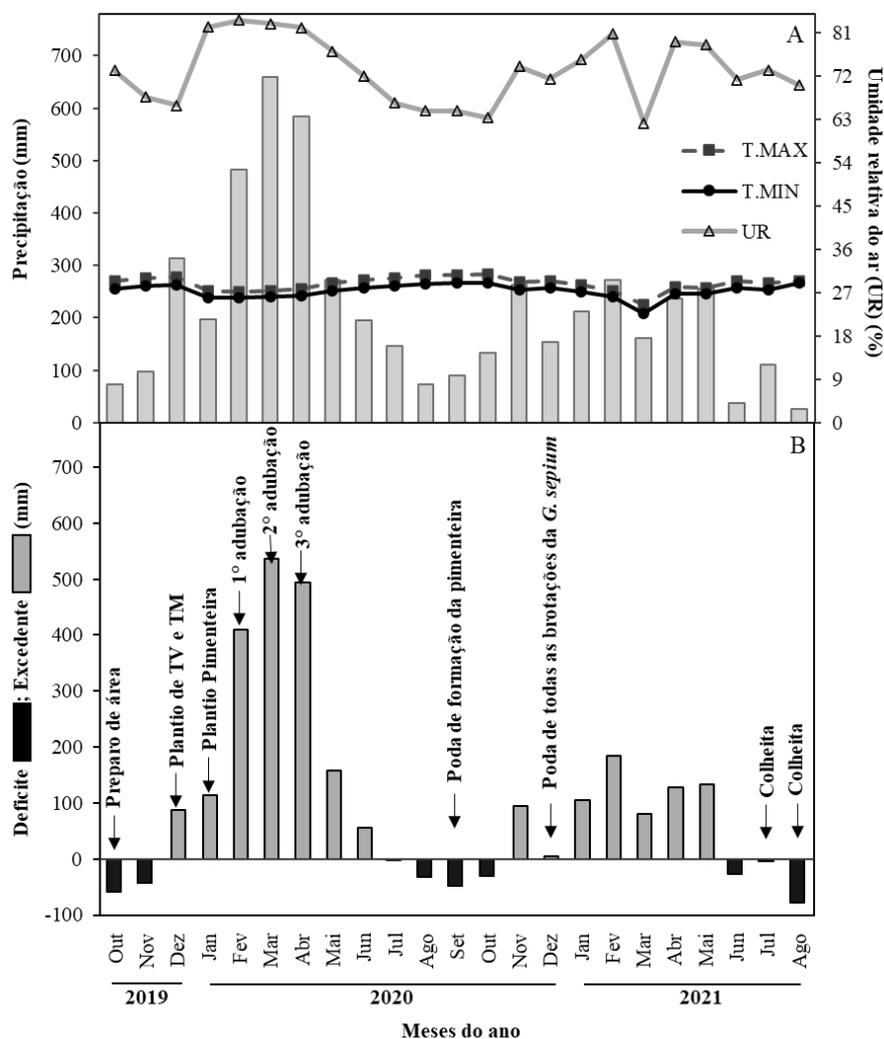


Figura 1. Temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa (UR) e precipitação [A] e extrato do balanço hídrico [B] de outubro de 2019 a agosto de 2021 em Castanhal (PA), calculado segundo Thornthwaite & Mather (1955), utilizando planilha eletrônica desenvolvida por De Souza Rolim et al. (1998). Capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm. *Setas indicam a sequência das principais atividades realizadas ao longo do experimento.

Crescimento vegetativo

A altura, o número de ramos ortotrópicos (RO) e o número de entrenós por ramo ortotrópico principal (EROP) por planta de pimenta-do-reino foram determinados em junho de 2020, setembro de 2020 e janeiro de 2021, representando, respectivamente, a morfologia da planta anterior a poda de formação (ou seja, aos 5 e 8 meses após o plantio) e imediatamente antes do primeiro período de floração (ou seja, 12 meses após o plantio).

Produção

A produção de frutos de pimenta-do-reino foi determinada aos 19 meses após o plantio (agosto de 2021). Para isso, os frutos verdes foram colhidos manualmente e pesados para determinar o rendimento com base na matéria fresca (ou seja, kg de frutos verdes planta⁻¹). Os frutos verdes foram secos em estufa por 72 horas a 60° C e o rendimento com base na matéria seca foi determinado (ou seja, kg de frutos secos planta⁻¹).

Trocas gasosas

Os parâmetros de trocas gasosas foram medidos na primeira folha adulta a partir do broto terminal dos galhos frutíferos, no terço médio da planta nos meses de março, abril, agosto, setembro, dezembro e janeiro ao longo do primeiro ano de cultivo da pimenta-do-reino. A média dos valores de março e abril compõe o período do inverno, a média dos valores de agosto e setembro compõe o período do verão e a média dos valores obtidos em dezembro e janeiro compõe o período do outono.

A taxa líquida de assimilação de CO₂ (*A*), a condutância estomática ao vapor de água (*g_s*), a transpiração (*E*) e a razão entre a concentração de CO₂ intercelular e ambiente (*C_i/C_a*) foram medidas entre 9:00 e 11:00 h da manhã usando um analisador de gás infravermelho portátil (LI -6400 XT; LICOR Biosci. Inc., Nebraska, EUA) sob concentração externa de CO₂ de 398 μmol CO₂ mol⁻¹ e sob PAR artificial de 1000 μmol de fótons m⁻² s⁻¹ (OLIVEIRA et al., 2018; SILVESTRE et al., 2017). A eficiência instantânea do uso da água (WUE) foi estimada como o quociente entre *A* e *E* (HATFIELD & DOLD, 2011).

Análise estatística

Para análise de variância (teste F), foram utilizados dados de altura, número de ramos ortotrópicos (RO) e número de entrenós do ramo ortotrópico principal (EROP) de plantas de pimenta-do-reino obtidos aos cinco (junho de 2020), oito (setembro de 2020) e 12 meses (janeiro de 2021) após o plantio e produção de frutos obtidos aos 19 meses (agosto de 2021) foram submetidos à análise de variância e regressão e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott (*P* < 0,05). Na análise de regressão, as equações de regressão que melhor se ajustaram aos dados foram escolhidas com base na significância dos coeficientes de regressão ao nível de significância de 1% (**) e 5% (*) pelo teste F e ao maior coeficiente de determinação (*r*²). Os dados de trocas gasosas (*A*, *g_s*, *E*, WUE, *C_i/C_a*) foram agrupados por período sazonais do ano em que a média dos dados de março e abril corresponderam ao inverno, a média entre agosto e setembro corresponderam ao verão e a média entre os meses de dezembro e janeiro

corresponderam ao outono, os dados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$) utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

4.3. Resultados e Discussão

Crescimento vegetativo

Houve efeito isolado de tipo de tutor para altura aos cinco e oito meses após o plantio, para número de entrenós do ramo ortotrópico principal em todos os meses de avaliação e para número de ramos ortotrópico aos doze meses após o plantio. Efeito isolado de doses de K para altura de plantas aos oito meses após o plantio e para número de ramos ortotrópicos aos doze meses após o plantio. Efeito da interação tutor versus doses de K para altura aos doze meses após o plantio (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de F e níveis de significância para os efeitos isolados do tipo de tutor (T) e doses de potássio (DK) e sua interação (T x DK) no crescimento vegetativo de plantas de pimenta-do-reino no primeiro ano de cultivo.

Data de avaliação	Parâmetros	Fatores		
		T	DK	T x DK
5 meses após o plantio Junho/2020	Altura de planta	62,667**	0,428 ^{ns}	1,502 ^{ns}
	Número de ramos ortotrópicos	1,199 ^{ns}	2,433 ^{ns}	1,296 ^{ns}
	Número de entrenós do ramo ortotrópico principal	13,478*	1,854 ^{ns}	1,685 ^{ns}
Setembro/2020	Altura de planta	137,444**	3,777*	2,015 ^{ns}
	Número de ramos ortotrópicos	2,820 ^{ns}	1,649 ^{ns}	1,305 ^{ns}
	Número de entrenós do ramo ortotrópico principal	74,503**	0,918 ^{ns}	0,078 ^{ns}
Janeiro/2021	Altura	2,467 ^{ns}	0,868 ^{ns}	12,592**
	Número de ramos ortotrópicos	1099,121**	3,009*	0,748 ^{ns}
	Número de entrenós do ramo ortotrópico principal	35,327**	0,941 ^{ns}	1,585 ^{ns}

^{ns} não significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

Aos cinco meses após o plantio, destacasse em altura e EROP pimenta-do-reino com TM com valores em média 39% e 20%, respectivamente, superiores ao cultivo com TV (Figura 2A, 2B).

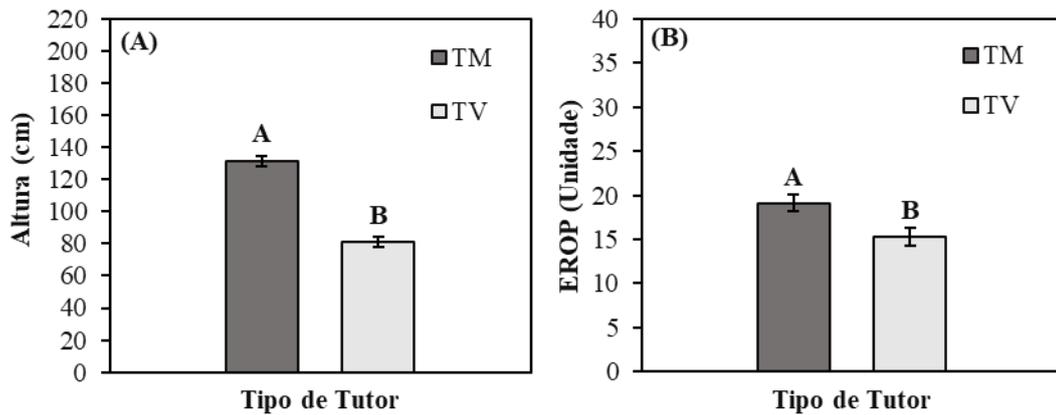


Figura 2. [A] Altura e [B] número de entrenós do ramo ortotrópico principal (EROP) de plantas de pimenta-do-reino cultivadas com tutor de madeira de lei (TM) e tutor vivo de *G sepium* (TV) aos cinco meses após o plantio. *Letras diferentes expressam diferenças significativas pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

Aos oito meses após o plantio pimenta-do-reino com TM é superior em média 26% e 18%, respectivamente, ao cultivo com TV em termos de altura e número de EROP (Figura). Em função das doses de K os dados de altura ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão com máxima altura (173 cm) obtida na dose correspondente a 44g K_2O planta⁻¹ de (Figura 2).

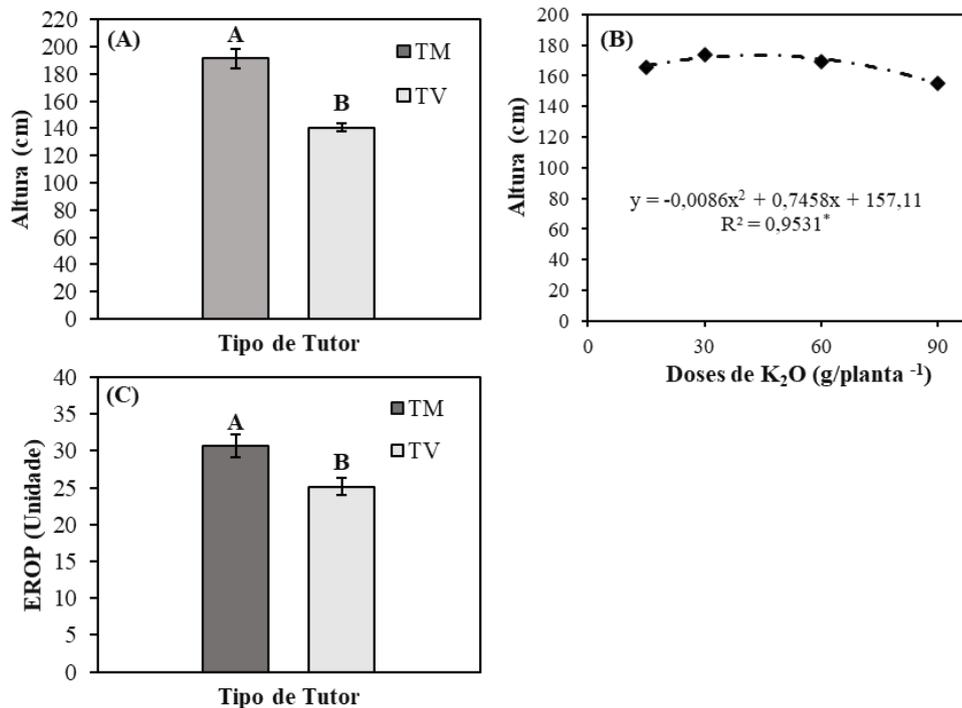


Figura 3. [A, B] Altura e [C] número de entrenós do ramo ortotrópico principal (EROP) de plantas de pimenta-do-reino cultivadas com tutor de madeira de lei (TM) e tutor vivo de *G sepium* (TV) submetidas a doses de K_2O (15, 30, 60 e 90 g K_2O planta⁻¹) aos oito meses após o plantio. *Letras diferentes expressam diferenças significativas pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

Aos doze meses após o plantio, não houve diferença de altura de plantas de pimenta-do-reino cultivadas com TV e TM nas doses de 30g K₂O planta⁻¹ e 90g K₂O planta⁻¹, porém com 15g K₂O planta⁻¹ TV foi superior em 21% ao TM e inferior a este em 13% com 60 g/planta de K₂O. Em ambos tipos de cultivo os dados de altura ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão com alturas máximas (222cm e 195cm) obtidas com doses estimadas de 62 g/planta de K₂O e 58g/planta de K₂O com TM e TV, respectivamente (Figura 4A). Pimenta-do-reino com TV destaca-se em termos de número de EROP com valor 21% superior ao cultivo com TM (Figura 4B), por outro lado para o número RO o cultivo com TM é superior em 54% o cultivo com TV (Figura 4D), os dados de RO ajustaram-se ao modelo linear de regressão com tendência de aumento em função das doses de K₂O (Figura 4C).

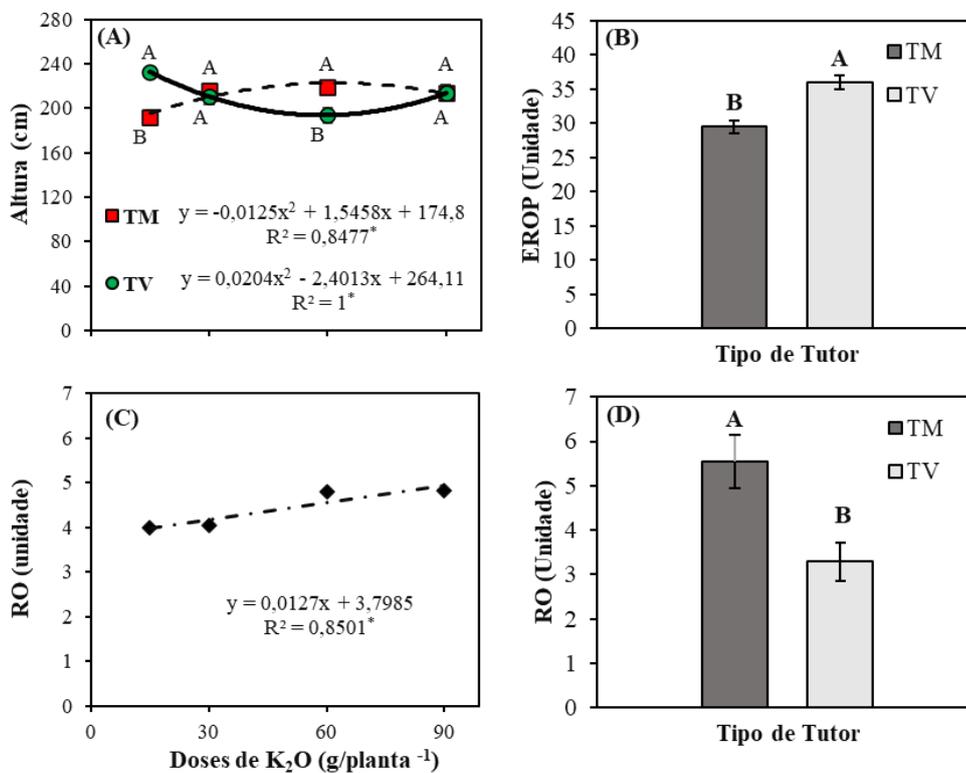


Figura 4. [A] Altura, [B] número de entrenós do ramo ortotrópico principal (EROP) e [C, D] número de ramos ortotrópicos [RO] de pimenta-do-reino cultivada com tutor de madeira de lei (TM) e tutor vivo de *G. sepium* (TV) sob doses de K₂O (15, 30, 60 e 90 g K₂O planta⁻¹) aos doze meses após o plantio. *Letras diferentes expressam diferenças significativas pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

No cultivo com TM a pimenta-do-reino cresce a pleno sol e com suporte inerte, por outro lado com TV a copa da *G. sepium* promove sombreamento parcial das plantas e diferentemente do TM há, na mesma cova, raízes da pimenta e gliricídia compartilhando do mesmo volume de solo para suprir suas demandas nutricionais. Nesse contexto, o menor

crescimento vegetativo da pimenta-do-reino em cultivo com TV, nos primeiros meses de avaliação, indica menor tolerância ao sombreamento e competição por nutrientes entre *G. sepium* e pimenta, uma vez que na maioria dos meses após o plantio não houve limitação hídrica no solo. A competição por nutrientes e o aumento do sombreamento ocasiona mudanças no processo de absorção de nutrientes e nas relações fonte-dreno da pimenta-do-reino, o que pode resultar em perda líquida de crescimento vegetativo e reprodutivo (PEIRA et al., 2003; ISSUKINDARSYAH et al., 2021).

Houve efeito da interação tutor versus doses de K tanto para pimenta verde quanto para pimenta seca (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de F e níveis de significância para os efeitos isolados do tipo de tutor (T) e doses de potássio (DK) e sua interação (T e DK) nos parâmetros de produtividade de plantas de pimenta-do-reino.

Parâmetros	Fatores		
	T	DK	T x DK
Pimenta verde (kg/planta ⁻¹)	35,567**	0,965 ^{ns}	4,700**
Pimenta seca (kg/planta ⁻¹)	37,604**	5,267**	5,754*

^{ns} não significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

A produção de pimenta verde de pimenta-do-reino cultivada com TM foi superior em 25%, 19%, 48% e 53% ao cultivo com TV nas doses de 15, 30, 60 e 90g K₂O planta⁻¹, respectivamente. Em cultivo com TM os dados ajustaram-se ao modelo linear de regressão enquanto em TV houve ajuste ao modelo quadrático (Figura 5A).

Assim como para pimenta verde, TM promoveu maiores produções em termos de pimenta seca, com produção em média 48%, 46%, 59% e 63% superior ao TV nas doses de 15, 30, 60 e 90g K₂O planta⁻¹, respectivamente. Em cultivo com TM os dados ajustaram-se ao modelo linear de regressão enquanto em TV houve ajuste ao modelo quadrático (Figura 5B).

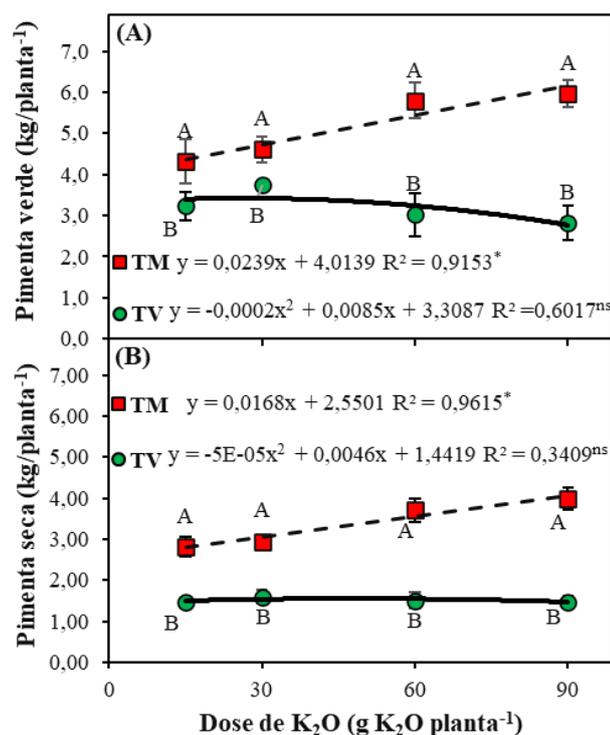


Figura 5. [A] Produção de pimenta verde e [B] pimenta seca de pimenta-do-reino cultivada com tutor de madeira de lei (TM) e tutor vivo de *G sepium* (TV) sob doses de K₂O (15, 30, 60 e 90 g K₂O planta⁻¹) no primeiro ano de cultivo. * Letras diferentes expressam diferenças significativas entre o tipo de tutor dentro de cada dose de K₂O pelo teste de Scott-Knott (P<0,5).

Os parâmetros de crescimento vegetativo possuem alta correlação positiva significativa com a produção de pimenta verde e seca por planta (THANUJA & RAJENDRAN, 2003). Em geral, as variáveis de crescimento ao longo do primeiro ano de cultivo de pimenta-do-reino foram superiores no cultivo com TM em relação ao TV o que, pelo menos em parte, pode ter contribuído para obtenção das maiores produções verificadas no cultivo com TM. Os resultados estão de acordo com pesquisas anteriormente desenvolvidas para pimenta-do-reino em cultivo com TM (IBRAHIM et al., 1985; SUJATHA, 1991; SATHEESHAN, 2000).

A resposta positiva em termos de produção de pimenta verde e seca em função das doses de K indicam que a espécie é altamente responsiva à adubação potássica, corroborando com os resultados de Veloso et al. (2000), obtidos a campo. Oliveira et al. (2007) constataram que para a obtenção de maior rendimento de produção de pimenta-do-reino, as plantas exigiram maiores doses de nutrientes assim como observado para os dados de produção obtidos em cultivo com TM.

Trocas gasosas

Houve efeito da interação tutor versus doses de K para A, g, E, WUE e C_i/C_a no inverno, verão e outono (Tabela 4).

Tabela 4. Valores de F e níveis de significância para os efeitos isolados do tipo de tutor (T) e doses de potássio (DK) e sua interação (T e DK) nas trocas gasosas de folhas de plantas de pimenta-do-reino.

Data de avaliação	Parâmetros	Fatores		
		T	DK	T x DK
Inverno	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	2153.672**	31.454**	20.506*
	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1.0E+0009**	15.044**	31.177**
	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	15.194*	1.607 ^{ns}	2.357*
	WUE ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	126.417**	4.972*	14.178*
	C_i/C_a (mol mol^{-1})	1.281 ^{ns}	7.295**	2.950*
Verão	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1.0E+0009**	584.826**	139.437**
	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1.0E+0009**	26.764**	43.918**
	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	582.233**	48.241**	33.199**
	WUE ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	3.7877 ^{ns}	18.327**	1.596*
	C_i/C_a (mol mol^{-1})	1.0E+0009**	7.074**	13.563**
Outono	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	73.770**	31.294**	5.761**
	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	22.261**	8.077**	17.280**
	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1.379**	36.457**	25.951**
	WUE ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	20.541*	8.991**	17.475**
	C_i/C_a (mol mol^{-1})	7.027 ^{ns}	3.476*	6.999**

^{ns} não significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

No inverno, os valores de A , g_s , e WUE não diferiram entre o cultivo com TV e TM na dose de $60 \text{g K}_2\text{O planta}^{-1}$, porém nas demais doses foram maiores em média 15%, 19% e 21%, respectivamente, em plantas de pimenta-do-reino com TM em relação a TV. Pimenta-do-reino com TV nas doses de 30 e $60 \text{g K}_2\text{O planta}^{-1}$ apresentaram taxas de E 10% e 8% respectivamente maiores em relação ao TM, mas não diferiu do mesmo com fornecimento de 10 e $90 \text{g K}_2\text{O planta}^{-1}$. Em termos de C_i/C_a , exceto para a dose de $90 \text{g K}_2\text{O planta}^{-1}$, não houve diferença estatística entre os tipos de tutores adotados. com valores médios 8% e % superiores as plantas com TM. No cultivo de pimenta-do-reino com TV as taxas de A , g_s , e WUE ajustaram-se ao modelo linear de regressão enquanto os de E e C_i/C_a ajustaram-se ao modelo quadrático. No cultivo com TM os dados de A , g_s , WUE e C_i/C_a ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão e os de E ao modelo linear (Figura 6A, 4D, 4G, 4J, 4N).

A adubação com K tende a promover um maior crescimento vegetativo das plantas favorecendo assim o aumento da intensidade de interceptação da luz solar e conseqüentemente aumento dos processos fotossintéticos (HASANUZZAMAN et al., 2018). Esse efeito também

se deve às funções desempenhadas pelo K na planta, incluindo a regulação do potencial osmótico das células vegetais, controlando a abertura e fechamento dos estômatos, resultando em maior eficiência no uso da água (SIDDIQUI et al., 2008; SIMOES et al., 2020). Portanto, o melhor desempenho fotossintético observado no inverno em cultivo com TM pode estar associado ao maior crescimento vegetativo com adoção desse tipo de tutor nesse período.

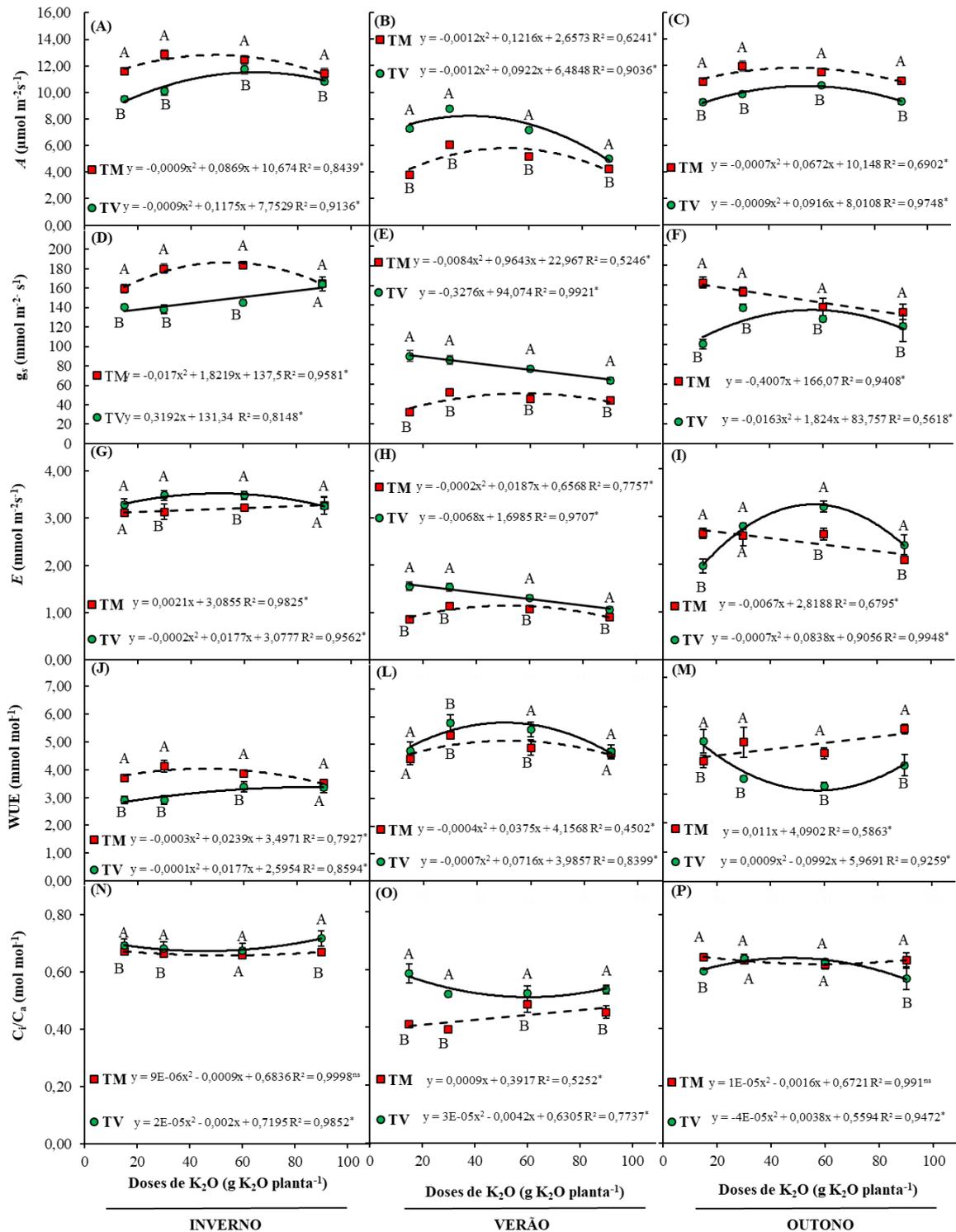


Figura 6. [A, B, C] Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), [D, E, F] condutância estomática ao vapor de água (g_s), [G, H, I] transpiração (E), [J, L, M] eficiência instantânea do uso da água (WUE), [N, O, P] relação da concentração interna e externa de CO₂ (C_i/C_a) no inverno, verão e outono de plantas de pimenta-do-reino cultivadas em dois tipos de tutor (TM e TV) sob doses de N (10, 20, 40 e 60 g N planta⁻¹) no primeiro ano de cultivo.* Letras diferentes expressam diferenças significativas entre o tipo de tutor dentro de cada dose de N pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,5$).

No verão, o cultivo com TV destacou-se ao promover maiores taxas de A, g_s , E e C_i/C_a em relação ao cultivo com TM. Em média o TV foi superior em 48%, 31%, 25% e 18% em A, 64%, 38%, 40% e 32% em g_s , 45%, 26%, 18% e 15% em E e 30%, 24%, 8% e 15% em C_i/C_a com fornecimento de 15, 30, 60 e 90g K₂O planta⁻¹, respectivamente. Em termos de WUE não houve diferença entre os tutores nas doses de 10 e 90g K₂O planta⁻¹, porém TV foi superior ao TM em 8% e 12% respectivamente, com 30 e 60g K₂O planta⁻¹. Em cultivo com TV os dados de A, WUE e C_i/C_a de plantas de pimenta-do-reino ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão enquanto os de g_s e E ajustaram ao modelo linear de regressão. Em TM houve ajuste ao modelo quadrático de regressão para os dados de A, g_s , E e WUE e linear para os dados de C_i/C_a (Figura 6B, 4E, 4H, 4L, 4O).

Mudanças nos parâmetros fotossintéticos objetivando evitar perda excessiva de água é considerada uma estratégia de defesa das plantas contra fatores ambientais como: diminuição de disponibilidade hídrica, aumento da radiação e da temperatura (PALMER, 2014; LI et al., 2015; FERRAZ et al., 2016; RODRIGUES et al., 2016). Na presente pesquisa em função do déficit hídrico ocorrido no verão, houve expressiva redução nos parâmetros fisiológicos avaliados. No entanto, destaca-se que nesse período o cultivo em TV de *G. sepium* promoveu parâmetros melhores de trocas gasosas em relação ao cultivo com TM, o que pode ser atribuído ao microclima gerado pela gliricídia com temperatura e radiação menores em relação ao cultivo com TM somado a isto o fornecimento de K em quantidade adequada pode conferir uma dinâmica adequada da condutância estomática às plantas, além de ser um elemento extremamente importante na ativação da função carboxilase da Rubisco, o que contribui para uma maior atividade fotossintética (CAKMAK, 2005).

No outono, as taxas de A, g_s e WUE foram superiores em pimenta-do-reino cultivada com TM em relação ao cultivo com TV na maioria das doses de K. Em média, TM foi superior ao TV em 14%, 18%, 9% e 14% para A, 38%, 11%, 9% e 11% para g_s com fornecimento de 15, 30, 60 e 90g K₂O planta⁻¹, respectivamente e 26%, 25% e 24% para WUE com 30, 60 e 90g K₂O planta⁻¹, respectivamente. Em termos de E TV tende a promover os maiores valores na maioria das doses de K enquanto para C_i/C_a não houve diferença entre os tutores nas doses de 30 e 60 g K₂O planta⁻¹, mas TM foi superior ao TV em 8% e 10% nas doses de 10 e 90 g K₂O

planta⁻¹, respectivamente. No cultivo de pimenta-do-reino com TV todas as variáveis de trocas gasosas ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão, porém em cultivo com TM apenas os dados de A e C_i/C_a ajustaram-se ao modelo quadrático enquanto para g_s , E e WUE houve ajuste ao modelo linear de regressão (Figura 6C, 4F, 4I, 4M, 4P).

4.4 Conclusão

Essa foi a primeira vez que foram avaliados parâmetros fisiológicos e de crescimento de pimenta-do-reino ao longo do primeiro ano de cultivo com TV de *G. sepium*. Os resultados sugerem que a gliricídia tem um papel importante na manutenção das trocas gasosas, em particular a influência positiva na taxa de assimilação líquida de CO₂ e na condutância estomática, de plantas de pimenta-do-reino em período de seca, verão amazônico. Além disso, ao final do primeiro ano cultivo plantas de pimenta-do-reino com TV de *G. sepium* foram semelhantes em termos de crescimento vegetativo ao cultivo com TM de madeira de lei, sobretudo nas menores doses K₂O. Por outro lado, a produção de pimenta verde e seca é maior quando o tutor utilizado é o de madeira de lei.

REFERÊNCIAS

- Andersen, M. N., Jensen, C. R., & Lösch, R. (1992). The interaction effects of potassium and drought in field-grown barley. I. Yield, water-use efficiency and growth. *Acta Agriculturae Scandinavica B-Plant Soil Sciences*, 42(1), 34-44. <https://doi.org/10.1080/09064719209410197>
- Cakmak, I. (2005). The role of potassium in alleviating detrimental effects of abiotic stresses in plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 168(4), 521-530. <https://doi.org/10.1002/jpln.200420485>
- Dalazen JR, Gontijo I, Paye HDS, Valani GP, Tomaz MA, Partelli FL (2020) Macronutrient dynamics in leaves and bunches of black pepper. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 55. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2020.v55.01780>
- de Menezes, A. J. E. A., Homma, A., Ishizuka, Y., Kodama, N. & Kodama, E. (2013). Gliricídia como tutor vivo para pimenta-do-reino. Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E).
- de Souza Rolim G, Sentelhas PC, Barbieri V (1998) Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Rev. Bras. Agrometeorol*, 6, 133-137.
- Ferraz TM, Rodrigues W P, Netto AT, de Oliveira Reis F, Pecanha AL, de Assis, FAMM, Camostrini E (2016) Comparison between single-leaf and whole-canopy gas exchange measurements in papaya (*Carica papaya* L.) plants. *Scientia Horticulturae*, 209, 73-78.
- Ferreira DF (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e agrotecnologia*, v. 35, p. 1039-1042

Gunaratne W D L, Heenkenda A P (2004) Use of gliricidia as a source of green manure for pepper (*Piper nigrum* L.). Focus Pepper 1:63–73.

Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Nahar, K., Hossain, M. S., Mahmud, J. A., Hossen, M. S., ... & Fujita, M. (2018). Potassium: a vital regulator of plant responses and tolerance to abiotic stresses. *Agronomy*, 8(3), 31. <https://doi.org/10.3390/agronomy8030031>

Hatfield, J. L., Boote, K. J., Kimball, B. A., Ziska, L. H., Izaurralde, R. C., Ort, D., ... & Wolfe, D. (2011). Climate impacts on agriculture: implications for crop production. *Agronomy journal*, 103(2), 351-370. <https://doi.org/10.2134/agronj2010.0303>

Ibrahim, K.K., Pillai, V.S. and Sasikumaran, S. 1985. Path coefficient analysis of some yield components in black pepper (*Piper nigrum* L.). *Indian Spices* 22(3): 22-25 Kumar, B.M. and Prabhakaran, P.V. 1980. Determination of leaf area in pepper (*Piper nigrum* L.) using linear measurement. *Indian Cocoa Arecanut Spices J.* 4: 26-27

Ishizuka Y, Kato A K, Conceição H E O, Duarte M de L R (2004) Sistema de cultivo sombreado. In: DUARTE, M. de L. R. Cultivo da pimenteira-do-reino na Região Norte. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, p. 83-89. (Embrapa Amazônia Oriental. Sistemas de produção, 1).

Karthika, K. S., Rashmi, I., & Parvathi, M. S. (2018). Biological functions, uptake and transport of essential nutrients in relation to plant growth. In *Plant nutrients and abiotic stress tolerance* (pp. 1-49). Springer, Singapore http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-9044-8_1

Kiill, Lúcia Helena Piedade; Drumond, Marcos Antônio. Biologia floral e sistema reprodutivo de *Gliricidia sepium* (Jacq.) Steud.(Fabaceae-Papilionoidae) na região de Petrolina, Pernambuco. **Ciência Rural**, v. 31, p. 597-601, 2001.

Kunhamu, T. K., Aneesh, S., Mohan Kumar, B., Jamaludheen, V., Raj, A. K., & Niyas, P. (2016). Biomass production, carbon sequestration and nutrient characteristics of 22-year-old support trees in black pepper (*Piper nigrum* L.) production systems in Kerala, India. *Agroforestry Systems*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10457-016-0054-5>

Nair, P K P (2011) 1 - The Agronomy and Economy of Black Pepper (*Piper nigrum* L.)—The “King of Spices”, Editor(s): K.P. Prabhakaran Nair, *Agronomy and Economy of Black Pepper and Cardamom*, Elsevier, 2011, Pages 1-108. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-391865-9.00001-3>

Oliveira AP, Alves EU, Silva JA, Alves AU, Oliveira ANP, Leonardo FAP, Moura MF & Cruz IS (2007) Produtividade da pimentado-do-reino em função de doses de esterco bovino. *Horticultura Brasileira*, 25:408-410.

Palmer, J. The future role of crop physiologists, a personal view. In: X International Symposium on Integrating Canopy, Rootstock and Environmental Physiology in Orchard Systems 1058. p. 209-219 2012.

Pereira, E., da Conceição, H. E. O., Duarte, M., Ishizuka, Y., & Aguiar, M. (2002). Avaliação de cultivares de pimenta-do-reino em sistema de cultivo " semi-intensivo".

Rodrigues, S D M, Poltronieri, M, de Lemos, O F, Araujo, S, & Both, J (2019). Avaliação de cultivares de pimenteira-do-reino (*Piper nigrum*) em dois tipos de tutores no município de Igarapé-Açu, Pará. Embrapa Amazônia Oriental-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento (INFOTECA-E).

- Rozov, A., Khusainov, I., El Omari, K., Duman, R., Mykhaylyk, V., Yusupov, M., ... & Yusupova, G. (2019). Importance of potassium ions for ribosome structure and function revealed by long-wavelength X-ray diffraction. *Nature communications*, 10(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10409-4>
- Salam, M. A., Mohankumaran, N., Jayachandran, B. K., Mammen, M. K., Sreekumar, D., & Satheesh, B. K. Kerala home gardens: thirty one species support black pepper vines. **Agroforest Today** 5:16–19, 1991.
- Sangakkara, U. R., Frehner, M., & Nösberger, J. (2001). Influence of soil moisture and fertilizer potassium on the vegetative growth of mungbean (*Vigna radiata* L. Wilczek) and cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186(2), 73-81. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2001.00433.x>
- Satheeshan, K.N. 2000. Physiological and biochemical aspects of flowering, berry set and development in black pepper (*Piper nigrum* L.). Ph.D. thesis, Kerala Agricultural University, Thrissur, p.172.
- Siddiqui, M. T., Shah, A. H., & Tariq, M. A. (2008). Effects of fertilization and water stress on *Eucalyptus camaldulensis* seedlings. *Journal of Tropical Forest Science*, 205-210. <https://www.jstor.org/stable/23616501>
- Simoës, P. H. O., de Carvalho, J. O. P., de Araujo, D. G., Gama, M. A. P., Lima, C. C., Oliveira Neto, C. F. D., ... & de Paula, M. T. (2020). Effect of phosphorus and potassium on gas exchanges of '*Tachigali vulgaris*'. *Australian Journal of Crop Science*, 14(12), 1961-1969.
- Studer, C. (1993). Interactive effects of N, P, K nutrition and water stress on the development of young maize plants. PhD thesis, Swiss Federal Institute of Technology at Zurich.
- Sujatha, R. 1991. Variability in intervarietal F1 hybrids and open pollinated seed progenies of black pepper (*Piper nigrum* L.). M.Sc. (Ag.) thesis, Kerala Agricultural University, Thrissur, p.103.
- Thanuja, T. V., & Rajendran, P. C. (2003). Influence of plant characters on dry yield of black pepper (*Piper nigrum* L.). In *Proceedings of XIII Swadeshi Science Congress* (pp. 47-51).
- Thorntwaite, C. W., & Mather, R. J. (1955). *The water balance*. New Jersey: Laboratory of Climatology, v. 8, , 104 p. (Publication in Climatology).
- Veloso, CAC, Carvalho EJM, Malavolta E, Muraoka T (2000) Resposta de cultivares de pimenta-do-reino aos nutrientes NPK em um Latossolo Amarelo da Amazônia Oriental. *Scientia Agricola*, 57, 343-347.
- Waraich, E. A., Ahmad, R., Ashraf, M. Y., Saifullah, & Ahmad, M. (2011). Improving agricultural water use efficiency by nutrient management in crop plants. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 61(4), 291-304.
- Yadav, J., Gabhane, V. V., Shelke, A., Rathod, A., Satpute, U., & Chandel, A. (2020). Effect of Potash Management through Gliricidia Green Leaf Manuring on Soil Fertility and Yield of Soybean in Vertosols. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 9(2), 1033-1037.

CAPÍTULO 4 - COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO E AGRONÔMICO DE PLANTAS DE PIMENTA-DO-REINO (*Piper nigrum*) CULTIVADAS EM GLIRICÍDIA (*Gliricídia sepium* L.) SOB DOSES DE POTÁSSIO.

5. COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO E AGRONÔMICO DE PLANTAS DE PIMENTA-DO-REINO (*PIPER NIGRUM*) CULTIVADAS EM GLIRICÍDIA (*GLIRICÍDIA SEPIUM* L.) SOB DOSES DE FÓSFORO.

RESUMO

No cultivo convencional da pimenteira-do-reino (*Piper nigrum* L.) o maior custo de implantação da lavoura é com tutores de madeira de lei proveniente do desmatamento de florestas nativas. A implantação de um hectare de pimenta-do-reino contribui para a retiradas de 25 a 30 árvores da mata nativa. Nesse contexto, destaca-se o cultivo de pimenta-do-reino em tutor vivo de gliricídia (*Gliricídia sepium* L.), o qual tem sido objeto de pesquisas por ser uma alternativa sustentável para produção de pimenta-do-reino. Porém, há carência de informações técnicas sobre os efeitos deste tipo de tutor na fisiologia e crescimento da pimenteira-do-reino, haja vista a hipótese de competição entre essas duas espécies por água, luz ou nutrientes. Assim, o objetivo da presente pesquisa foi avaliar o comportamento fisiológico e crescimento vegetativo ao longo do primeiro ano de cultivo de pimenteira-do-reino cultivada com gliricídia submetidas a doses de fósforo (P). O estudo foi conduzido no município de Castanhal-PA, em condições de campo, em delineamento de blocos ao acaso, com os tratamentos arranjados em parcelas subdivididas, com 3 repetições. Os tratamentos foram: parcelas - dois tipos de tutores (estacas de madeira de lei (TM) e tutor vivo de *G. sepium* (TV)); subparcelas - quatro doses de P (20, 40, 80 e 120g/planta de P₂O₅). Ao final do primeiro ano de cultivo o uso do tutor vivo de *G. sepium* promove crescimento vegetativo semelhante ao cultivo com tutor morto de madeira de lei com fornecimento de maiores doses de P. No período seco do ano, *G. sepium* melhora o desempenho fotossintético de plantas de pimenta-do-reino. A produção de pimenta verde e pimenta seca é maior em até 22% e 35% respectivamente no cultivo com TM em relação ao cultivo com TV.

Palavras-Chave: trocas gasosas, biometria, pimenta preta, adubação fosfatada.

PHYSIOLOGICAL AND AGRONOMIC BEHAVIOR OF BLACK PEPPER (*PIPER NIGRUM*) PLANTS GROWN IN GLIRICIDIA (*GLIRICIDIA SEPIUM* L.) UNDER PHOSPHORUS DOSES.

ABSTRACT

In the conventional cultivation of black pepper (*Piper nigrum* L.) the biggest cost of implantation of the crop is with tutors of hardwood coming from the deforestation of native forests. The implantation of one hectare of black pepper contributes to the removal of 25 to 30 trees from the native forest. In this context, the cultivation of black pepper in live tutor of gliricidia (*Gliricidia sepium* L.) stands out, which has been the object of research for being a sustainable alternative to produce black pepper. However, there is a lack of technical information about the effects of this type of tutor on the physiology and growth of black pepper, given the hypothesis of competition between these two species for water, light or nutrients. Thus, the objective of the present research was to evaluate the physiological behavior and vegetative growth during the first year of cultivation of black pepper cultivated with gliricidia subjected to doses of phosphorus (P). The study was conducted in the municipality of Castanhal-PA, under field conditions, in a randomized block design, with treatments arranged in split plots, with 3 replications. The treatments were: plots - two types of tutors (wooden tutor (WT) and living tutor of *G. sepium* (LT)); subplots - four doses of P (20, 40, 80 and 120g/plant of P₂O₅). At the end of the first year of cultivation, the use of a live tutor of *G. sepium* promotes vegetative growth similar to the cultivation with a dead tutor of hardwood, providing higher doses of P. In the dry period of the year, *G. sepium* improves photosynthetic performance of black pepper plants. The production of green pepper and dry pepper is higher by up to 22% and 35% respectively in the cultivation with WT in relation to the cultivation with LT.

Keywords: gas exchange, biometrics, black pepper, phosphate fertilizer.

5.1 Introdução

A família Piperaceae é composta por mais de 4.300 espécies amplamente distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais do mundo (BRITO & PEREIRA, 2019). A popular pimenta preta (*Piper nigrum*) é uma das mais valorizadas destas espécies (pode atingir valores de 10.000 USD por tonelada) sendo amplamente cultivada em zonas tropicais regiões, como Vietnã, Indonésia, Brasil, Índia e China (FAOSTAT, 2020). É importante para as indústrias cosmética e farmacêutica (ZHU et al. 2012; ABDULAZEEZ et al. 2016) bem como para várias da saúde (SHARIF et al., 2018).

O Brasil é um dos maiores produtores de pimenta-do-reino, oscilando entre a segunda e terceira posição no mercado mundial. Das 50 mil toneladas produzidas por ano, o país exporta 45 mil, principalmente para a Europa e para os Estados Unidos. O Estado do Pará é segundo maior produtor de pimenta-do-reino do Brasil, e o maior em termos de área plantada, ficando atrás apenas do Espírito Santo (IBGE, 2021).

O cultivo de pimenta-do-reino no Brasil utiliza estacas de madeira de lei para servir como suporte para o crescimento da cultura. Nesse sistema, para cada hectare cultivado de pimenteira-do-reino, é necessário extrair entre 25 e 30 árvores de madeiras-de-lei da floresta nativa para a produção de tutores, sendo o tutor vivo uma alternativa viável para contornar a escassez de madeira de lei, sobretudo para os agricultores familiares (De MENEZES et al., 2013).

O uso de estacas de gliricídia (*Gliricidia sepium* L.) como tutor vivo (TV) contorna a dificuldade de obtenção de tutores de madeira de lei (TM), diminuindo os impactos ambientais e aumentando a longevidade dos pimentais. Com as restrições ambientais e o esgotamento das espécies madeireiras de lei, tornou-se bastante difícil obter tutores para servir de suporte para o cultivo de pimenteira-do-reino.

No cultivo de pimenta-do-reino usando espécies arbóreas como suporte para a pimenteira há uma maior necessidade fertilização em relação ao cultivo com TM, uma vez que são duas espécies com necessidades nutricionais distintas. Zaubin et al. (1990) explicaram que o crescimento e o rendimento de plantas de pimenta-do-reino usando espécies arbóreas foram menores do que plantas usando TM. A competição por nutrientes com o suporte de árvores vivas é um dos fatores que faz com que o crescimento e a produção de plantas usando suporte vivo seja menor do que o suporte não vivo (WAHID, 1984).

Nesse contexto, as estratégias atuais de adubação da pimenta-do-reino consideram o cultivo de pimenta-do-reino em estacas de madeira de lei (BRASIL et al., 2020). No entanto, há a necessidade de adicionar insumos de forma a considerar o cultivo de pimenta-do-reino associada a espécie arbóreas, uma vez que ambas possuem necessidades nutricionais distintas. A falta de conhecimento sobre o comportamento do co-cultivo de pimenta-do-reino com espécies arbóreas pode levar a uma menor eficiência do sistema de produção da cultura como um todo, tornando a atividade menos lucrativa (PARTELLI et al., 2014). Desse modo, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar o comportamento fisiológico e crescimento vegetativo ao longo do primeiro ano de cultivo de pimenta-do-reino cultivada com *G. sepium* submetidas a doses de fósforo (P).

5.2 Material e métodos

Localização do experimento

O estudo foi realizado em campo no período de janeiro de 2020 a agosto de 2021 em área pertencente a Empresa TROPOC - PRODUTOS TROPICAIS DE CASTANHAL LTDA (figura 1), localizada no município de Castanhal-PA, nordeste paraense. De acordo com a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Af, clima tropical chuvoso (úmido).

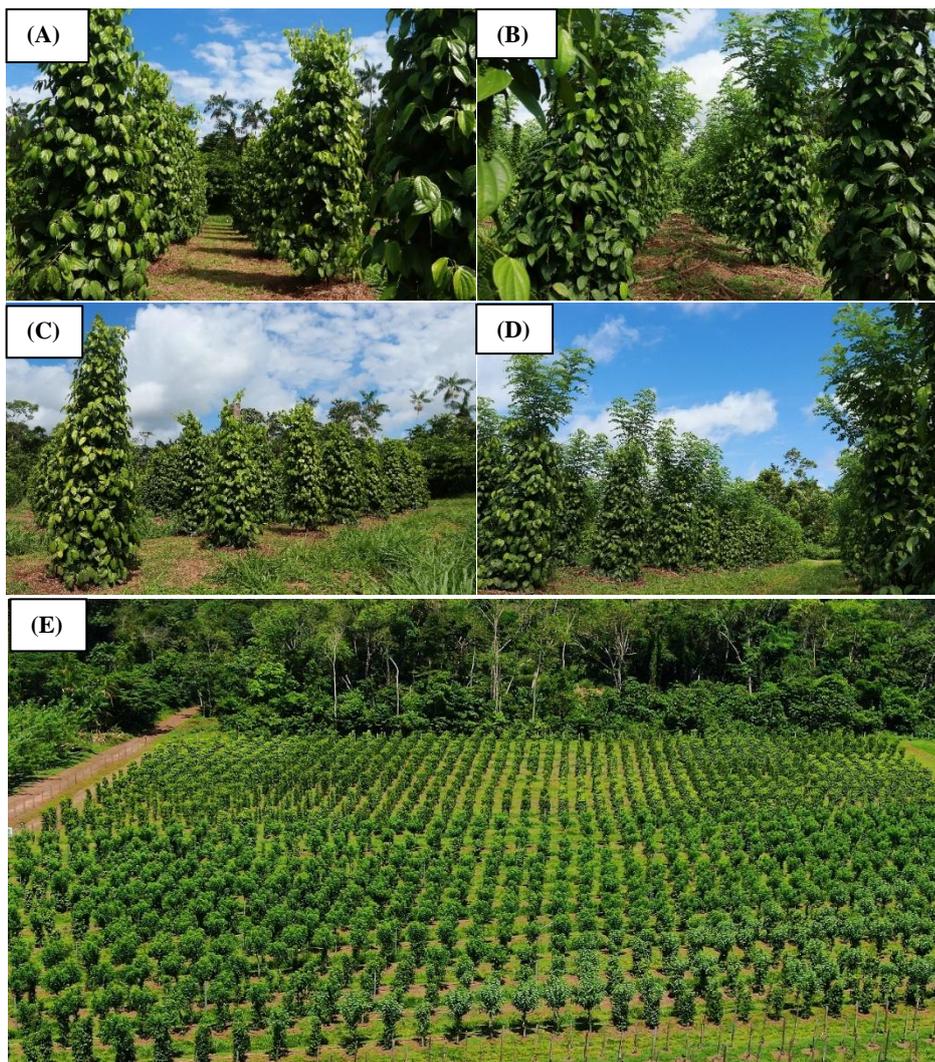


Figura 1. Área experimental de cultivo de pimenteira-do-reino em [A,C] estação de madeira de lei (TM) e [B,D] e tutor vivo de *G. sepium* (TV) e [E] imagem aérea de cultivo em TV (a frente) e TM (ao fundo).

Os dados pluviométricos, de temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa do ar e balanço hídrico climatológico durante o período de condução da pesquisa estão apresentados na figura 2. O balanço hídrico climatológico descendial para o período entre outubro de 2019 a agosto de 2021 (CAD=100 mm) foi calculado com a utilização da planilha eletrônica desenvolvida por De Souza Rolim et al., (1998), utilizando-se dados meteorológicos fornecidos pelo Inmet.

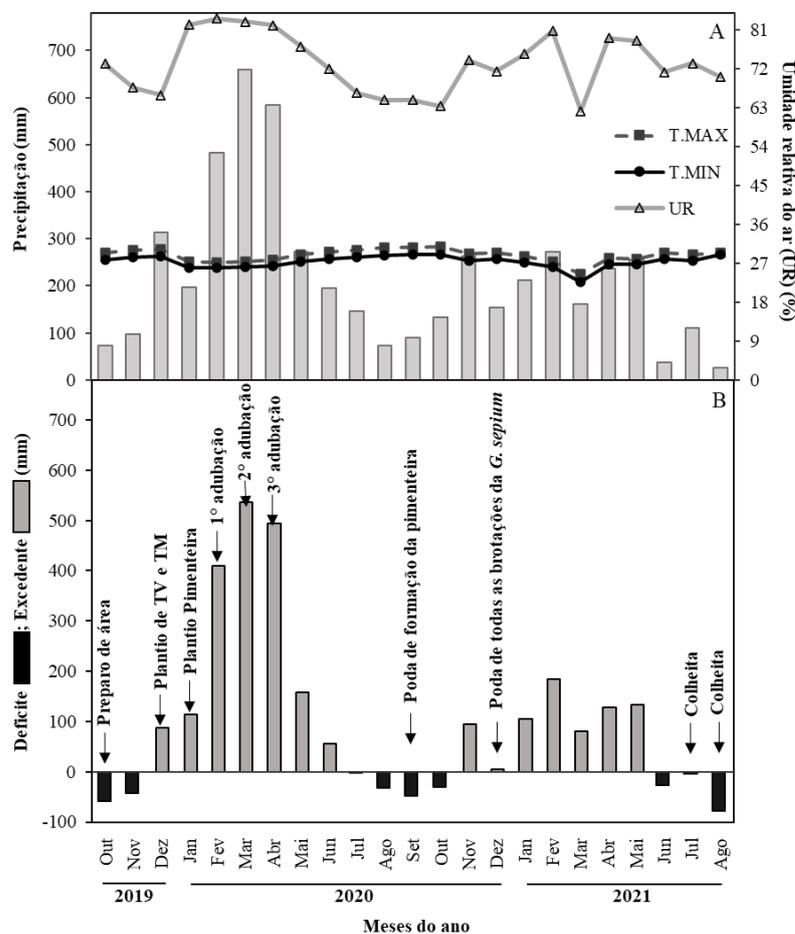


Figura 2. Temperatura máxima e mínima do ar, umidade relativa (HR) e precipitação [A] e extrato do balanço hídrico [B] de outubro/2020 a agosto/2021 em Castanhal (PA), calculado segundo Thornthwaite e Mather (1955), utilizando planilha eletrônica desenvolvida por De Souza Rolim et al. (1998). Capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm. Os cálculos foram realizados a partir de dados obtidos em estação meteorológica localizada a 500 m do campo experimental.

Delineamento experimental e tratamentos

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso em parcelas sub-divididas onde: parcela principal – dois tipos de tutores (tutor morto de madeira de lei (TV) e tuto vivo de *G. sepium* (TV)), subparcela – quatro doses de P (20, 40, 80 e 120g P₂O₅ planta⁻¹ aplicado na forma de superfosfato triplo).

Instalação e condução do experimento

Em outubro de 2019 iniciou-se o preparo da área, com limpeza, aração e gradagem do solo. Para correção do solo, classificado como Latossolo Amarelo Distrófico e com as seguintes características químicas na profundidade de 0-20cm (P- 9 mg/dm³, K- 12 mg/dm³, Ca- 0,38 mmol/dm³, Ca+Mg- 0,68 mmol/dm³, Al-1,24 mmol/dm³, pH (H₂O)- 4,16 e MO-7,44 g/kg) e

físicas (argila-140g/kg, Silte-127 g/kg e Areia- 733 g/kg), aplicou-se 3,7 toneladas/hectare de calcário dolomítico (PRNT 90%). Após 30 dias da aplicação do calcário foram feitas leiras de 40cm de altura e 4,5m de largura para posterior introdução dos tutores.

As estacas de madeira de lei (TM) foram introduzidas em dezembro de 2019 juntamente com a *G. sepium*, estas com 2,5 m de comprimento e 8 cm de diâmetro, enterradas 60 cm no solo. A condução da gliricídia foi realizada conforme recomendação de Ishizuka et al. (2004).

Em janeiro de 2020 as mudas de pimenta-do-reino foram plantadas a 10cm dos tutores, as quais foram introduzidas em covas de 40cm x 40cm x 40cm previamente adubadas com 5L de cama de aviário, e as doses de fósforo na forma de superfosfato triplo e 30g de FTE BR-12. As doses de N e K foram divididas em partes iguais e aplicadas aos 30, 60 e 90 dias após o plantio das mudas. As plantas foram dispostas nas leiras na forma de filas duplas, com espaçamento de 2,20 m x 2,20 m entre plantas, e 4 m entre as leiras.

Os demais tratos culturais utilizados na condução das plantas foram amarrão, poda dos ramos ladrões das pimenteiros e poda das *G. sepium* para uso como cobertura morta, aplicação de óleo de neem, além de coroamento das plantas e roçagem da área. Em setembro de 2020) foi realizada poda de todas as plantas de pimenteira-do-reino há 1m de altura e em dezembro de 2020 foi feita a poda de todas as brotações das plantas de gliricídia. As inflorescências e as espigas em formação nas plantas que se formaram durante o primeiro ano novembro de 2020 de plantio foram retiradas, visando ao melhor desenvolvimento das mesmas.

Variáveis analisadas

Crescimento

A altura, o número de ramos ortotrópicos (RO) e o número de entrenós do ramo ortotrópico principal (EROP) por planta de pimenta-do-reino foram determinados em junho de 2020, setembro de 2020 e janeiro de 2021, representando, respectivamente, a morfologia da planta anterior a poda de formação (ou seja, aos 5 e 8 meses após o plantio) e imediatamente antes do primeiro período de floração (ou seja, 12 meses após o plantio).

Produção

A produção de frutos de pimenta-do-reino foi determinada aos 19 meses após o plantio (agosto de 2021). Para isso, os frutos verdes foram colhidos manualmente e pesados para determinar o rendimento com base na matéria fresca (ou seja, kg de frutos verdes planta⁻¹). Os

frutos verdes foram secos em estufa por 72 horas a 60° C e o rendimento com base na matéria seca foi determinado (ou seja, kg de frutos secos planta⁻¹).

Troca gasosas foliares

As medições das trocas gasosas foliares, tais como condutância estomática (g_s), taxa líquida de assimilação de CO₂ (A), transpiração (E) e relação da concentração interna e externa de CO₂ C_i/C_a foram realizadas nos meses de março/2020, abril/2020, agosto/2020, setembro/2020, dezembro/2020 e janeiro/2021 ao longo de todo o primeiro ano de cultivo da pimenta-do-reino. Utilizou-se para mensuração a primeira folha adulta a partir do broto terminal dos galhos frutíferos, no terço médio da planta para caracterização do comportamento fisiológico da planta desde a fase vegetativa a fase reprodutiva. Essas medições foram feitas sempre no período de 9:00 às 11:00 h da manhã, utilizando-se o analisador de gases infravermelho portátil IRGA, modelo Li - 6400XT (Portable Photosynthesis System - LI) da LICOR®, sob luz saturante de 1.000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e condições ambiente de temperatura e concentração de CO₂ (SILVESTRE et al., 2017).

Análise estatística

Para análise de variância (teste F), foram utilizados dados de altura, número de ramos ortotrópicos (RO) e número de entrenós do ramo ortotrópico principal (EROP) de plantas de pimenta-do-reino obtidos aos cinco (junho de 2020), oito (setembro de 2020) e 12 meses (janeiro de 2021) após o plantio e produção de frutos obtidos aos 19 meses (agosto de 2021) foram submetidos à análise de variância e regressão e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$). Na análise de regressão, as equações de regressão que melhor se ajustaram aos dados foram escolhidas com base na significância dos coeficientes de regressão ao nível de significância de 1% (**) e 5% (*) pelo teste F e ao maior coeficiente de determinação (r^2). Os dados de trocas gasosas (A , g_s , E , WUE, C_i/C_a) foram agrupados por período sazonais do ano em que a média dos dados de março e abril corresponderam ao inverno, a média entre agosto e setembro corresponderam ao verão e a média entre os meses de dezembro e janeiro corresponderam ao outono os dados foram submetidos à ANOVA e as médias comparadas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,05$) utilizando o programa estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

4.3 Resultados e Discussão

Crescimento

Houve efeito da interação tutor versus doses de P para número de entrenós do ramo ortotrópico principal aos oito e doze meses após o plantio. Efeito isolado de tutor para altura e número de entrenós do ramo ortotrópico principal aos cinco, oito e doze meses após o plantio. Efeito isolado de doses de P para altura aos doze meses após o plantio (Tabela 1).

Tabela 1. Valores de F e níveis de significância para os efeitos isolados do tipo de tutor (T) e doses de fósforo (DP) e sua interação (T e DP) no crescimento vegetativo de plantas de pimenta-do-reino no primeiro ano de cultivo.

Data de avaliação	Parâmetros	Fatores		
		T	DP	T x DP
5 meses após plantio Junho/2020	Altura de planta	31.244*	0.796 ^{ns}	0.274 ^{ns}
	Número de ramos ortotrópicos	19.671*	1.766 ^{ns}	0.678 ^{ns}
	Número de entrenós do ramo ortotrópico principal	3.000 ^{ns}	0.769 ^{ns}	0.813 ^{ns}
8 meses após plantio Setembro/2020	Altura de planta	22.411*	2.177 ^{ns}	0.159 ^{ns}
	Número de ramos ortotrópicos	78.694*	1.065 ^{ns}	0.070 ^{ns}
	Número de entrenós do ramo ortotrópico principal	2.402 ^{ns}	4.192**	2.882*
12 meses após plantio Janeiro/2021	Altura	210.350**	9.593**	1.181 ^{ns}
	Número de ramos ortotrópicos	343.000**	0.782 ^{ns}	1.748 ^{ns}
	Número de entrenós do ramo ortotrópico principal	6.647 ^{ns}	11.428**	6.057**

^{ns} não significativo; * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$

Aos cinco meses após o plantio altura e número de entrenós do ramo ortotrópico principal de pimenta-do-reino em TM foi superior em 36% e 25% respectivamente ao cultivo com TV (Figura 3).

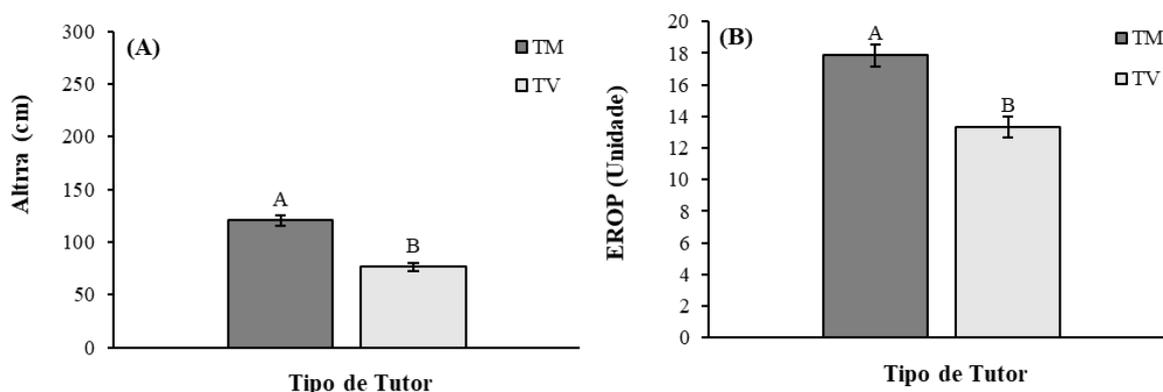


Figura 3. [A] Altura e [B] número de entrenós do ramo ortotrópico principal (EROP) de plantas de pimenta-do-reino cultivadas com tutor de madeira de lei (TM) e tutor vivo de *G. sepium* (TV) aos cinco meses após o plantio.

*Letras diferentes expressam diferenças significativas pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

Aos oito meses após o plantio altura e EROP de pimenta-do-reino em TM foi superior em 27% e 19% respectivamente ao cultivo com TV (Figura 4A, 4B). Em termos de RO TV foi superior ao TM em 25%, 34% e 47% com 20, 40 e 80g P₂O₅ planta⁻¹, respectivamente. Em TM os dados de RO ajustaram-se ao modelo linear de regressão enquanto em TV houve ajuste ao modelo quadrático com valor máximo de RO (4) obtido na dose estimada de 71g P₂O₅ planta⁻¹ (Figura 4C).

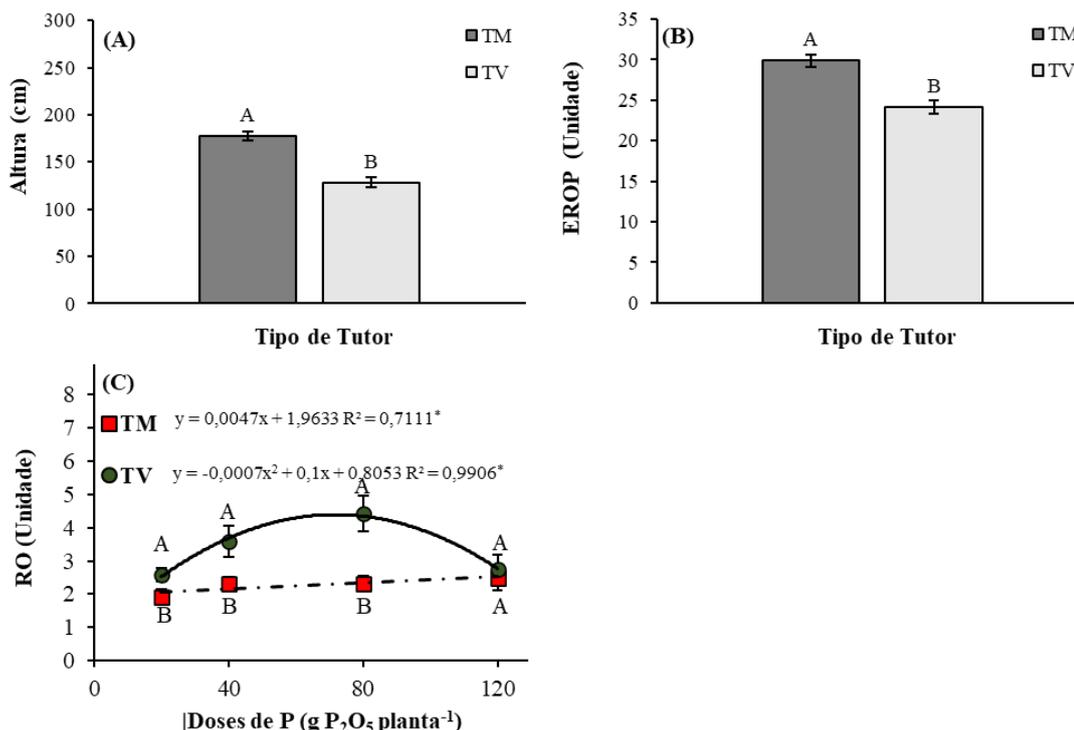


Figura 4. [A] Altura, [B] número de entrenós do ramo ortotrópico principal (EROP) e [C] número de ramos ortotrópicos (RO) de plantas de pimenta-do-reino cultivadas com tutor de madeira de lei (TM) e tutor vivo de *G sepium* (TV) submetidas a doses de P (20, 40, 80 e 120 g P₂O₅ planta⁻¹) aos oito meses após o plantio. *Letras diferentes expressam diferenças significativas pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

O crescimento vegetativo de uma planta influencia diretamente a sua produção. Para a pimenta-do-reino um melhor crescimento vegetativo reflete em melhores produtividades. Nesse contexto, verificou-se ao final do primeiro ano de cultivo, período de transição entre o estágio vegetativo e reprodutivo, que em termos de altura (Figura 5B) e número de entrenós do ramo ortotrópico principal (Figura 5D) plantas de pimenteira-do-reino cultivadas com TV foram superiores em 8% e 4% respectivamente, ao cultivo com TM. Em função das doses de P os dados de altura ajustaram-se modelo quadrático de regressão (Figura 5A). Pimenta-do-reino com TM foi superior em 49%, 25% e 73% em termos de RO ao cultivo com TV nas doses de 20, 40 e 120 g P₂O₅ planta⁻¹, respectivamente. Em TM os dados de RO ajustaram-se ao modelo

quadrático de regressão enquanto com TV houve ajuste ao modelo linear de regressão (Figura 5C).

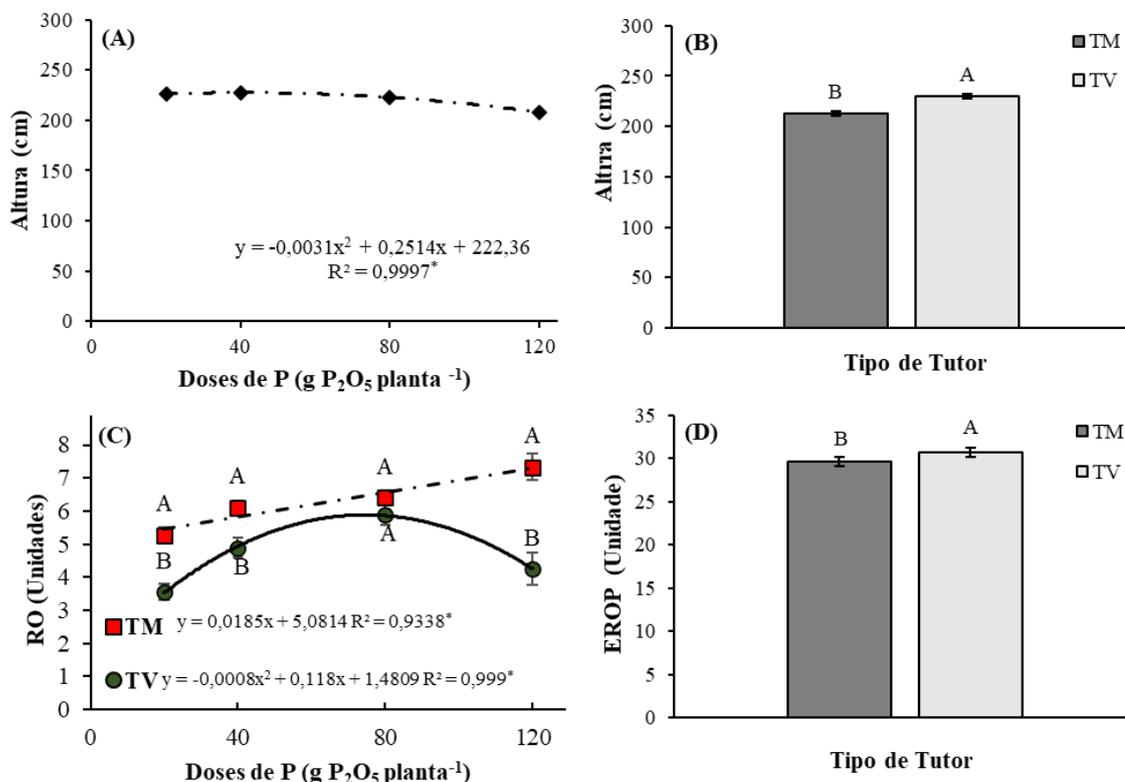


Figura 5. [A, B] Altura, [C] número de ramos ortotrópicos (RO) e [D] número de entrenós do ramo ortotrópico principal (EROP) de pimenta-do-reino cultivada com tutor de madeira de lei (TM) e tutor vivo de *G. sepium* (TV) sob doses de P (20, 40, 80 e 120 g P₂O₅ planta⁻¹) aos doze meses após o plantio. *Letras diferentes expressam diferenças significativas pelo teste de Scott Knott ($P < 0,05$).

O uso de espécies arbóreas influencia diretamente o crescimento radicular das plantas de pimenta-do-reino. ISSUKINDARSYAH et al. (2021) verificaram redução de 58% do comprimento de raiz e 56% da área de superfícies da raiz em cultivo com TV em relação ao TM. Desse modo, a redução do comprimento e área da superfície da raiz promove menor captação de nutrientes de plantas. Portanto, uma baixa captação de nutrientes limita o crescimento da planta, o que, pelo menos em parte, justifica o menor crescimento vegetativo nos primeiros meses de cultivo de pimenta-do-reino em cultivo com TV.

Houve efeito da interação entre tipo de tutor versus doses de fósforo tanto para produção de pimenta verde quanto para produção de pimenta seca (Tabela 2).

Tabela 2. Valores de F e níveis de significância para os efeitos isolados do tipo de tutor (T) e doses de fósforo (DP) e sua interação (T e DP) nos parâmetros de produtividade de plantas de pimenta-do-reino.

Parâmetros	Fatores
------------	---------

	T	DP	T x DP
Pimenta verde (kg/planta ⁻¹)	2.840 ^{ns}	0.995 ^{ns}	8.766 ^{**}
Pimenta seca (kg/planta ⁻¹)	3.477 ^{ns}	2.734 [*]	12.385 ^{**}

^{ns} não significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

Não houve diferença em produção de pimenta verde entre o cultivo com TV e TM nas doses de 20 e 120g P₂O₅ planta⁻¹. Por outro lado, nas doses de 40 e 80g P₂O₅ planta⁻¹, pimenta-do-reino com TM produz em média 43% e 40% respectivamente a mais que pimenta-do-reino com TV. Em TV os dados ajustaram-se ao modelo linear de regressão, enquanto em TM os dados ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão com produção ótima de 5,5kg/planta⁻¹ estimada na dose correspondente a 54g P₂O₅ planta⁻¹ (Figura 6A).

A produção de pimenta seca em cultivo com TM foi superior ao TV em todas as doses de P. Em média a produção com TM foi maior em 22%, 51%, 53% e 18% com 20, 40, 80 e 120 g P₂O₅ planta⁻¹ respectivamente em relação ao TV. Com TV os dados de pimenta seca ajustaram-se ao modelo linear de regressão e em TM houve ajuste ao modelo quadrático de regressão com produção ótima de pimenta seca de 3,3kg/planta⁻¹ obtida na dose ótima estima de 45g P₂O₅ planta⁻¹ (Figura 6B).

O aumento do crescimento vegetativo e produção da pimenta-do-reino em função das doses de P pode ser atribuído ao papel do P no aumento do acúmulo de biomassa nas plantas, aumento da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa e maior crescimento das raízes e, conseqüentemente, o aumento da absorção de nutrientes minerais das plantas (SARG et al., 2007; EMONGOR et al., 2010).

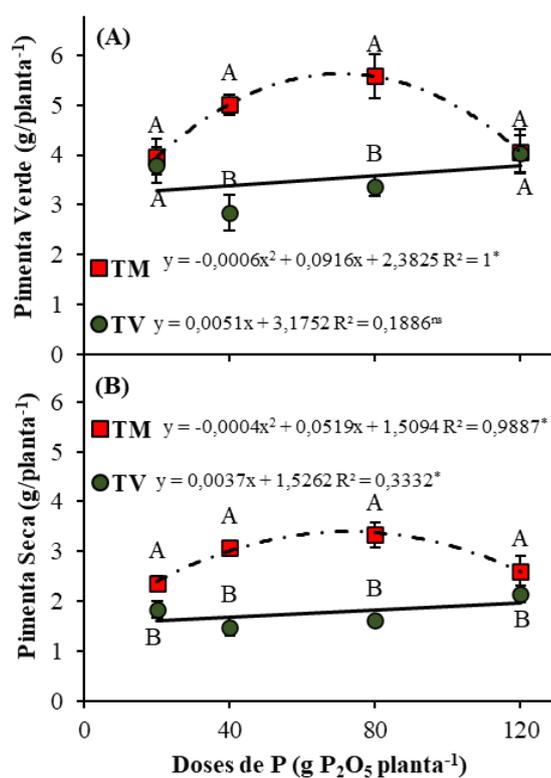


Figura 6. [A] Produção de pimenta verde e [B] pimenta seca de pimenta-do-reino cultivada com tutor de madeira de lei (TM) e tutor vivo de *G. sepium* (TV) sob doses de P (20, 40, 80 e 120 g P₂O₅ planta⁻¹) no primeiro ano de cultivo. * Letras diferentes expressam diferenças significativas entre o tipo de tutor dentro de cada dose de K₂O pelo teste de Scott-Knott (P<0,5).

A menor amplitude de diferença em termos de crescimento entre plantio de pimenta-do-reino com TV e TM ao longo do primeiro ano de cultivo foi observado na maior dose de P (120g P₂O₅ planta⁻¹). Tanto a *G. sepium* quanto a pimenta-do-reino exigem quantidades ideais de nutrientes para seu adequado crescimento e desenvolvimento, portanto é esperado que no cultivo com *G. sepium* haja competição entre as duas plantas por nutrientes, e tal competição pode vir a ser atenuada por meio do aumento da quantidade de nutrientes fornecidos as plantas. Nesse contexto, os dados indicam que houve competição entre a *G. sepium* e a pimenta-do-reino tendo em vista o comportamento contrastante das variáveis de crescimento nas maiores e menores doses de P, em que se observou menor amplitude de diferença em crescimento com as maiores doses de P e maior amplitude de diferença nas menores doses de P.

Trocas gasosas

No inverno houve efeito isolado de tipo de tutor para A e E, efeito isolado de doses de P para A, e efeito da interação tutor versus doses de P para g_s, WUE e C_i/C_a. No verão, houve efeito isolado de tutor e doses de P para g_s, E, WUE, efeito da interação tutor versus doses de

P para A e C_i/C_a , No outono, houve efeito da interação tutor versus doses P para g_s e E efeito isolado de tutor para A, WUE e C_i/C_a e efeito isolado de doses de P para A e C_i/C_a (Tabela 3).

Tabela 3. Valores de F e níveis de significância para os efeitos isolados do tipo de tutor (T) e doses de fósforo (DP) e sua interação (T e DP) nas trocas gasosas de folhas de plantas de pimenta-do-reino.

Data de avaliação	Parâmetros	Fatores		
		T	DP	T x DP
Inverno	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	27.407**	6.604**	2.936 ^{ns}
	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	240.087**	2.618 ^{ns}	4.988**
	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	10.181**	2.183 ^{ns}	0.165 ^{ns}
	WUE ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	14.578**	4.277*	3.070*
	C_i/C_a (mol mol^{-1})	103.500**	12.042**	21.473**
Verão	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	112.934**	8.519**	8.553**
	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	334.456**	4.217**	0.605 ^{ns}
	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	68.127**	5.606**	2.754 ^{ns}
	WUE ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	51.719**	3.33*	0.298 ^{ns}
	C_i/C_a (mol mol^{-1})	2.608 ^{ns}	2.800 ^{ns}	3.270*
Outono	A ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	11.922**	8.467**	2.036 ^{ns}
	g_s ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	1.044**	11.654**	5.938**
	E ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	6.429 ^{ns}	2.962**	3.529**
	WUE ($\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	11.553*	2.240 ^{ns}	0.587 ^{ns}
	C_i/C_a (mol mol^{-1})	11.748*	6.203**	0.546 ^{ns}

^{ns} não significativo; * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$

No inverno, as taxas de A e E de pimenta-do-reino em TM foram maiores em 13% e 6% respectivamente, em relação ao cultivo com TV (Figura 7B, 7D); com incremento das doses de P houve aumento de A com ajuste ao modelo linear de regressão (Figura 7A). g_s em cultivo com TM foi superior ao TV em 30%, 37% e 26% nas doses de 20, 40 e 80g P_2O_5 planta⁻¹, respectivamente; com TM os dados de g_s ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão enquanto em TV houve ajuste linear (Figura 7C). Em termos de WUE não houve diferença entre os tutores com 20, 40 e 80g P_2O_5 planta⁻¹, mas com 120g P_2O_5 planta⁻¹ TM foi superior em 20% ao TV; em ambos os tutores os dados de WUE ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão (Figura 7E). C_i/C_a de pimenta-do-reino com TM foi maior em 18%, 19% e 12% a com TV com fornecimento de 20, 40 e 80g P_2O_5 planta⁻¹, respectivamente; com TM os dados de C_i/C_a ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão enquanto em TV houve ajuste linear

(Figura 7F). Plantas com taxas fotossintéticas mais altas e, conseqüentemente, maior consumo de CO₂, também têm valores mais altos de g_s (AMBROZIM et al., 2021).

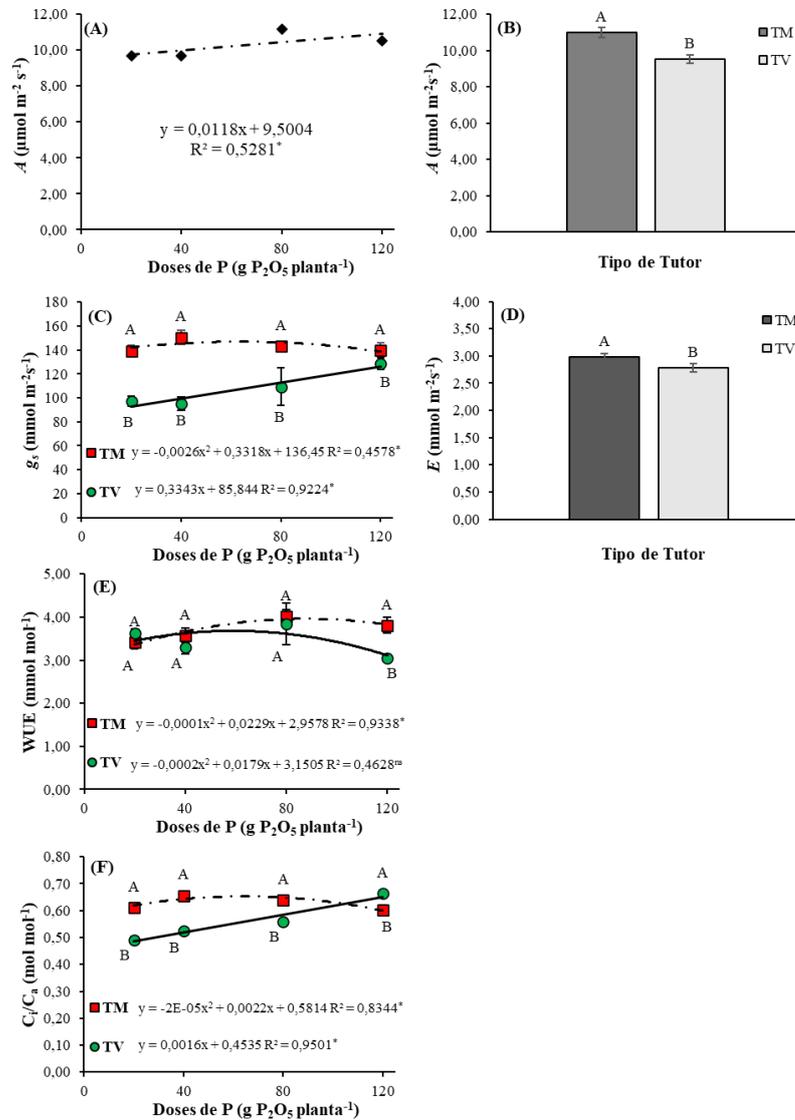


Figura 7. [A, B] Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), [C] condutância estomática ao vapor de água (g_s), e [D] transpiração (E), [E] eficiência instantânea do uso da água (WUE), [F] relação da concentração interna e externa de CO₂ (C_i/C_a) no inverno de plantas de pimenta-do-reino cultivadas em dois tipos de tutor (TM e TV) sob doses de P (20, 40, 80 e 120 g P₂O₅ planta⁻¹) no primeiro ano de cultivo.* Letras diferentes expressam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,5$).

No verão, g_s , E e WUE foram, respectivamente, 31%, 8% e 21% superiores em cultivo com TV em relação ao TM (Figura 9D, 9F, 9H). Em função das doses de P g_s e E ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão enquanto para WUE houve ajuste ao modelo linear (Figura 9C, 9E, 9G). Em termos de taxas de A TV foi superior a TM em todas as doses de P, com valores em média 11%, 23%, 28% e 40% maiores com TV em comparação ao TM nas doses de 20, 40, 80 e 120 g P₂O₅ planta⁻¹, respectivamente; tanto com TV quanto com TM os dados

de A, em função das doses de P, ajustaram-se ao modelo linear de regressão (Figura 9A). Em termos de C_i/C_a , exceto na dose de 20 g P_2O_5 planta⁻¹, não foi verificada diferença entre os tipos de tutores adotados; em TM os dados de C_i/C_a ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão e em TV houve ajuste ao modelo linear de regressão (Figura 9B).

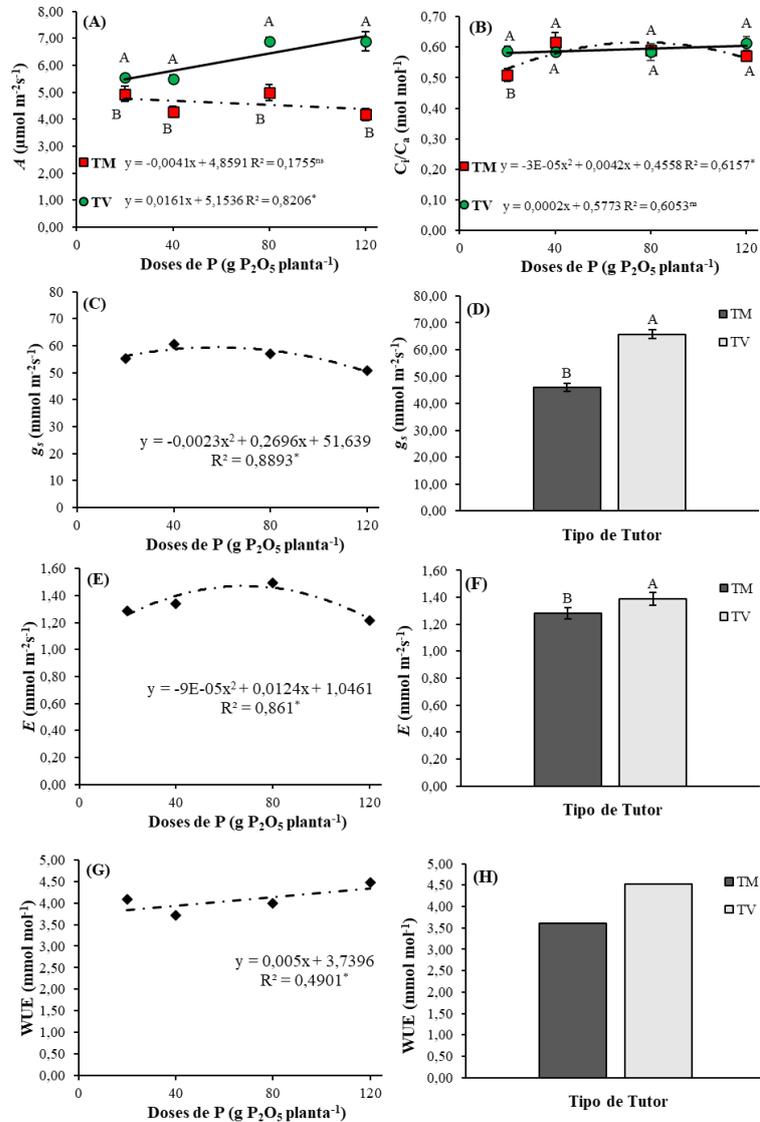


Figura 8. [A] Taxa de assimilação líquida de CO_2 (A), [B] relação da concentração interna e externa de CO_2 (C_i/C_a) no [C,D] condutância estomática ao vapor de água (g_s), [E,F] transpiração (E) e [G,H] eficiência instantânea do uso da água (WUE), no verão de plantas de pimenta-do-reino cultivadas em dois tipos de tutor (TM e TV) sob doses de P (20, 40, 80 e 120 g P_2O_5 planta⁻¹) no primeiro ano de cultivo.* Letras diferentes expressam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,5$).

No outono, as taxas de A e WUE de pimenta-do-reino em TM foram maiores em 7% e 5% respectivamente ao cultivo com TV (Figura 9B, 9F); por outro lado em termos de C_i/C_a o TV foi maior em 6% ao TM (Figura 9D). Tanto A quando C_i/C_a em função das doses de P ajustaram-se ao modelo quadrático de regressão (Figura 9A,9C). g_s de pimenta-do-reino com TV e TM não diferem com fornecimento de 40 e 80 g P_2O_5 planta⁻¹, por outro lado com 20 g

P_2O_5 planta⁻¹ TM é maior em 12% a TV e com 120g P_2O_5 planta⁻¹ TV é superior ao TM em 13%. Exceto na dose de 20g P_2O_5 planta⁻¹ não houve diferença entre TV e TM em termos de E . Em TV os dados de g_s e E ajustaram-se ao modelo linear de regressão enquanto em TM houve ajuste ao modelo quadrático de regressão (Figura 9E, 9G).

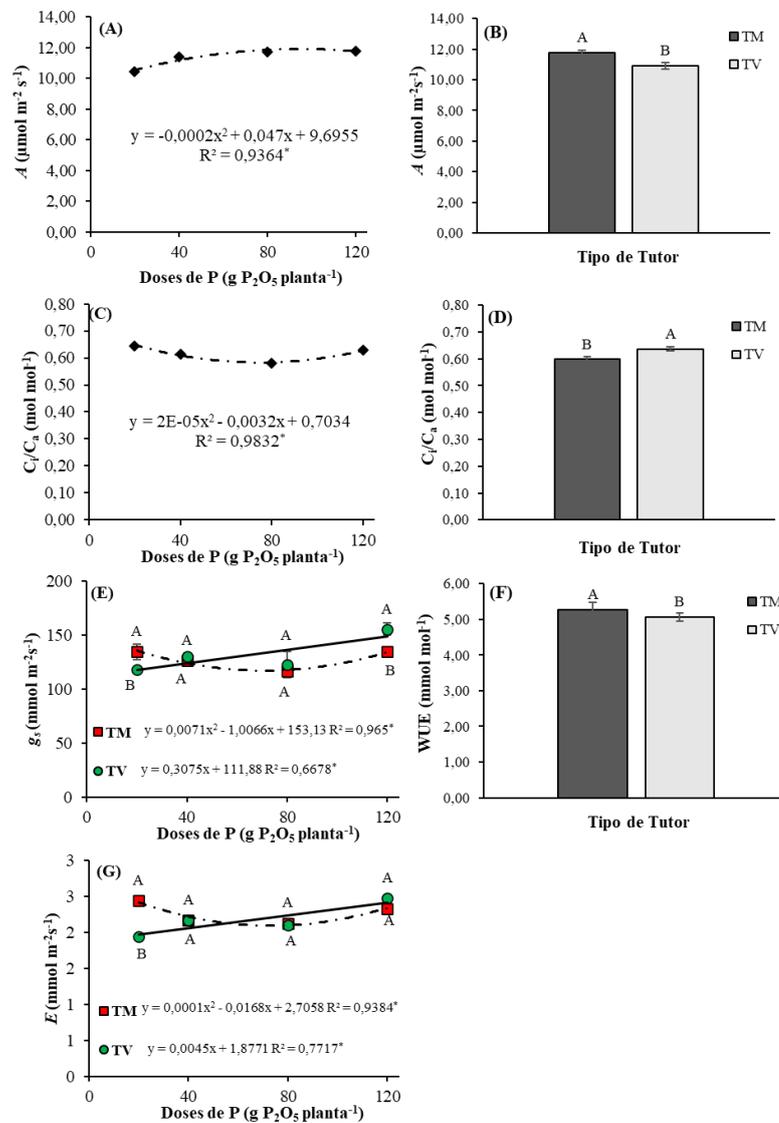


Figura 9. [A, B] Taxa de assimilação líquida de CO₂ (A), [C,D] relação da concentração interna e externa de CO₂ (C_i/C_a), [E] condutância estomática ao vapor de água (g_s), [F] eficiência instantânea do uso da água (WUE) e [G] transpiração (E), no outono de plantas de pimenta-do-reino cultivadas em dois tipos de tutor (TM e TV) sob doses de P (20, 40, 80 e 120 g P_2O_5 planta⁻¹) no primeiro ano de cultivo.* Letras diferentes expressam diferenças significativas pelo teste de Scott-Knott ($P < 0,5$).

5.5 Conclusão

Ao final do primeiro ano de cultivo o uso do tutor vivo de *G. sepium* promove crescimento vegetativo semelhante ao cultivo com tutor morto de madeira de lei com fornecimento de maiores doses de P.

No período seco do ano, *G. sepium* melhora o desempenho fotossintético de plantas de pimenta-do-reino.

A produção de pimenta verde e pimenta seca é maior em 22% e 35% respectivamente no cultivo com TM em relação ao cultivo com TV.

REFERÊNCIAS

- Abdulazeez, M. A., Sani, I., James, B. D., & Abdullahi, A. S. (2016). Black pepper (*Piper nigrum* L.) oils. In *Essential Oils in Food Preservation, Flavor and Safety* (pp. 277-285). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416641-7.00031-6>
- Ambrozim, C. S., Medici, L. O., Cruz, E. S. D., Abreu, J. F. G., & Carvalho, D. F. D. (2021). Physiological response of black pepper (*Piper nigrum* L.) to deficit irrigation. *Revista Ciência Agronômica*, 53. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20220002>
- Brasil EC, Cravo MdaS, Matos IdeJ (2020) Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará.e. -2.ed.-Brasilia, DF; Embrapa.
- Brito, A. C.; Pereira, L. A (2019). Nível de conservação de *Peperomia* Ruiz & Pav. (PIPERACEAE) no estado do Amapá. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia**
- de Menezes, A. J. E. A., Homma, A., Ishizuka, Y., Kodama, N. & Kodama, E. (2013). Gliricídia como tutor vivo para pimenta-do-reino. Embrapa Amazônia Oriental-Documentos (INFOTECA-E).
- de Souza Rolim G, Sentelhas PC, Barbieri V (1998) Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Rev. Bras. Agrometeorol*, 6, 133-137.
- Emongor, V. E., & Mabe, O. (2010). Effects of phosphorus on growth, yield and yield components of chilli pepper (*Capsicum annum* L.). In XXVIII International Horticultural Congress on Science and Horticulture for People (IHC2010): International Symposium on 936 (pp. 327-334). <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.936.42>
- FAO. FAOSTAT. Data. Production. Crops. 2020. Available in: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>
- Ferreira DF (2011) Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e agrotecnologia*, v. 35, p. 1039-1042
- Florestal**, v. 34, n. 2, p. 46-58.
- IBGE (2021) - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/pimenta-do-reino/br>
- Issukindarsyah, I., Sulistyaningsih, E., Indradewa, D., & Putra, E. T. S. (2021). The Effect of Ammonium Nitrate Ratio and Support Types on the NPK Uptake and Growth of Black Pepper (*Piper nigrum* L.) in Field Conditions. *Poljoprivreda*, 27(2), 25-33. <http://dx.doi.org/10.13057/biodiv/d210502>
- Partelli, F. L., Araújo, A. V., Vieira, H. D., Dias, J. R. M., Menezes, L. F. T. D., & Ramalho, J. C. (2014). Microclimate and development of Conilon coffee intercropped with rubber trees.

Pesquisa Agropecuária Brasileira, 49, 872-881. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-204X2014001100006>

Sarg, S. M., Hassan, M. A., El-Seifi, S. K., & Rakha, M. K. (2007). Effect of sulphur and phosphate fertilization on growth yield and fruit quality of pepper (*Capsicum annuum*, L.) b- Effect on yield, fruit quality and nutrient components. Journal of Plant Production, 32(3), 2225-2242. <https://dx.doi.org/10.21608/jpp.2007.206737>

Sharif, M. K., Ejaz, R., & Pasha, I. (2018). Nutritional and therapeutic potential of spices. In *Therapeutic, probiotic, and unconventional foods* (pp. 181-199). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814625-5.00011-X>

Thorntwaite, C. W., & Mather, R. J. (1955). The water balance. New Jersey: Laboratory of Climatology, v. 8, , 104 p. (Publication in Climatology).

Wahid, P. (1984). Pengaruh Naungan dan Pemupukan terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Lada (*Piper nigrum* LINN.).

Wahid, P. (1990). Pengaruh pemupukan dan pemangkasan tajar hidup terhadap produksi tanaman lada. Pemberitaan Littri, 1(4).

Zaubin, R., Nuryani, Y., & Wahid, P. (1990). Penggunaan berbagai jenis panjatan untuk tanaman lada di Bangka. Pembt. Littri. XV (4), 137-142.

Zhu, J. J., Qiang, P. E. N. G., Liang, Y. L., Xing, W. U., & Hao, W. L. (2012). Leaf gas exchange, chlorophyll fluorescence, and fruit yield in hot pepper (*Capsicum annuum* L.). [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(12\)60083-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(12)60083-5)