

JOSÉ MARIA DA SILVA

**ÍNDICES NITROGENADOS, BIOMASSA E PRODUÇÃO DE PIMENTÃO EM SLAB
ASSOCIADOS A DOSES DE NITROGÊNIO VIA GOTEJAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S586i
2019
Silva, José Maria da, 1992-
Índices nitrogenados, biomassa e produção de pimentão em
SLAB associados a doses de nitrogênio via gotejamento / José
Maria da Silva. – Viçosa, MG, 2019.
viii, 51 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 43-51.

1. *Capsicum annuum* L.. 2. Pimentão - Desenvolvimento -
Efeito do nitrogênio. 3. Análise foliar. 4. Substratos. 5. Pimentão
- Nutrição. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 635.643

JOSÉ MARIA DA SILVA

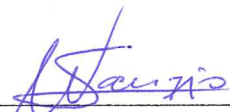
**ÍNDICES NITROGENADOS, BIOMASSA E PRODUÇÃO DE PIMENTÃO EM SLAB
ASSOCIADOS A DOSES DE NITROGÊNIO VIA GOTEJAMENTO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 16 de julho de 2019.



Carla do Carmo Milagres
(Coorientadora)



Sanzio Mollica Vidigal



Derly José Henriques da Silva



Paulo Cezar Rezende Fontes
(Orientador)

Aos meus pais Helvécio e Efigênia,
Às minhas irmãs Regiane e Vanessa
e ao meu irmão Antônio,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida e por estar presente em todos os momentos;

À minha família, pelo carinho, confiança e suporte;

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia pela oportunidade de realização do curso;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa e recursos;

Ao professor Paulo Cezar Rezende Fontes, pela orientação, ensinamentos, conselhos, paciência, amizade e pelo exemplo de profissionalismo;

À Dra. Carla pela coorientação e pela incansável ajuda nos trabalhos de campo e laboratório, além dos conselhos, paciência e amizade;

Ao professor Derly e ao Dr. Sanzio por aceitarem fazer parte da banca de defesa deste trabalho e pela amizade e conselhos;

Aos professores Liovando, Laércio e José Ivo pela amizade, conselhos e ajuda;

À minha namorada Jucilane por todo amor, companheirismo, carinho e paciência;

Aos funcionários e professores do Departamento de Fitotecnia da UFV, em especial ao Wilson e Sérgio, da Horta Velha, pela ajuda na montagem e condução do experimento;

Aos colegas do laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, em especial à Carol, Deise, Heider e July, pela amizade, companhia e ajuda com o experimento.

Aos técnicos do laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, Edimaldo e Itamar, pela amizade e ajuda com as análises;

Aos técnicos Jorge, Cláudio, Evandro e Geovani do Departamento de Solos pelo suporte com as análises;

Aos amigos de caminhada da UFV, Ministério Universidades Renovadas (MUR), República Moita e República Agrotop, pela amizade e companhia.

Enfim, a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

Muito Obrigado!

BIOGRAFIA

José Maria da Silva, filho de Helvécio Tiago da Silva e Efigênia Emídia Teixeira da Silva, nasceu em 31 de agosto de 1992 em Guaraciaba – MG.

Em 2006, concluiu o Ensino Fundamental na Escola Estadual Hermógenes Ferreira da Silva. Em 2007, mudou-se para Rio Pomba para cursar o ensino médio profissionalizante. Em 2009 recebeu a diplomação de Técnico em Agropecuária e Técnico em Informática pelo Instituto Federal Sudeste Minas Gerais.

Em 2011, iniciou o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa e em 2013 mudou-se para Manhattan, Kansas, EUA para realização de intercâmbio pelo programa Ciência sem Fronteiras, na Kansas State University.

Em 2017, concluiu o curso de Agronomia, obtendo o título de Engenheiro Agrônomo pela Universidade Federal de Viçosa.

Em março de 2018, iniciou o Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, na área de Nutrição Mineral de Plantas.

RESUMO

SILVA, José Maria, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2019. **Índices nitrogenados, biomassa e produção de pimentão em SLAB associados a doses de nitrogênio via gotejamento.** Orientador: Paulo Cezar Rezende Fontes. Coorientadora: Carla do Carmo Milagres.

Os objetivos do trabalho foram: a) caracterizar o efeito de doses de nitrogênio (N) sobre os índices medidos com os clorofilômetros SPAD e Dualex (NBI, CHL e FLV) na folha recém-madura ou referência, ao longo do ciclo da planta de pimentão; b) estabelecer o valor crítico dos índices medidos com o SPAD e Dualex ao longo do desenvolvimento da planta; c) avaliar o efeito de doses de N sobre a biomassa de folha, caule e raiz; d) determinar a dose ótima de N para a produção de frutos comerciais no cultivo em SLABS. Os tratamentos foram constituídos por 6 doses de N (0; 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 e 7,5 g planta⁻¹ de N) e o experimento foi instalado em blocos casualizados, com quatro repetições e foi conduzido em ambiente protegido do Departamento de Fitotecnia da Universidade Federal de Viçosa, no período de outubro/2018 a março/2019. As doses de N foram parceladas em 10 aplicações quinzenais, via gotejamento. Nas primeiras duas quinzenas utilizou-se o sulfato de amônio (20 % de N) e no restante do ciclo, o nitrato de cálcio (15 % de N e 19 % de Ca). A muda de pimentão (Arcade F1) foi transplantada para saco do tipo SLAB contendo 40 dm³ de substrato composto por solo, areia e esterco na proporção de 2:1:1. Em cada SLAB foram transplantadas 4 mudas. Foram avaliados, quinzenalmente, a partir dos 15 até 150 dias após o transplântio (DAT), os índices SPAD, clorofila (CHL), flavonoides (FLV) e balanço de N (NBI) em folha recém-madura ou referência. Aos 60 DAT, determinou-se o teor de N na matéria seca da folha referência. Para cada época de desenvolvimento da planta foi determinado o nível crítico de cada índice considerando a dose de N que maximizou a produção comercial de frutos. Foram realizadas 6 colheitas de frutos, a primeira aos 84 e a última aos 150 DAT. Aos 160 DAT foram obtidas as massas de folha, caule e raiz secas, produtividade total e comercial de frutos e os teores residuais de nitrato e amônio no substrato. Doses de N influenciaram os índices SPAD, CHL, NBI e FLV ao longo do ciclo da planta. Há relação entre doses de N e biomassas seca de folha e caule, produtividade total e produtividade comercial de pimentão, possível de ser descrita por modelo quadrático. A dose de 5,51 g planta⁻¹ de N, correspondente à 355,5 kg ha⁻¹, proporcionou a produtividade máxima de frutos comerciais de 1,57 kg planta⁻¹ ou 101,2 t ha⁻¹. Aos 60 DAT, o valor crítico de N na matéria seca da folha referência foi 53,3 g kg⁻¹. Com o aumento da dose de N aumentou o teor residual de nitrato no substrato.

ABSTRACT

SILVA, José Maria, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2019. **Nitrogen index, biomass and bell pepper production in SLAB associated with nitrogen rates via drip irrigation.** Adviser: Paulo Cezar Rezende Fontes. Co-adviser: Carla do Carmo Milagres.

The objectives of this study were: a) to characterize the effect of nitrogen (N) rates on the indexes measured with SPAD and Dualex chlorophyll meters throughout the plant cycle; b) to establish the critical value of the indexes measured with SPAD and Dualex throughout the development of the plant; c) to evaluate the effect of N rates on leaf, stem and root biomass; d) to determine the optimum N rate for commercial fruit production in SLABS cultivation. The treatments consisted of six N rates (0; 1.5; 3.0; 4.5; 6.0 and 7.5 g plant⁻¹ of N) and the experiment was installed in randomized blocks, with four replicates and was conducted in a protected environment of the Department of Plant Science of the Federal University of Viçosa, from October 2018 to March 2019. The N rates were divided into 10 bi-weekly applications, via drip irrigation. In the first month, the plants were fertigated with ammonium sulphate (20 % N) and in the remainder of the cycle it was used calcium nitrate (15 % N and 19 % Ca). Bell pepper seedling (Arcade F1 cultivar) was transplanted into SLAB containing 40 dm³ of substrate composed of soil, sand and manure in 2:1:1 ratio, respectively. Four seedlings were transplanted in each SLAB. From 15 to 150 days after transplanting (DAT), biweekly, the SPAD, chlorophyll (CHL), flavonoids (FLV) and N balance (NBI) indices were evaluated in newly opened mature leaf or reference leaf. Total N was determined in the reference leaf at 60 DAT. For each plant development period the critical level of each index was determined considering the N rate that maximized the commercial fruit production. At the end of the plant cycle, dry matter of leaves, stem and root, total and commercial fruit yield and residual nitrate and ammonium in the substrate were determined. N rate impacts the SPAD, CHL, NBI and FLV index throughout the bell pepper plant cycle. There is a relationship between N rates and leaf and stem dry biomass, total yield and commercial yield of pepper, which can be described by quadratic model. The rate of 5.51 g plant⁻¹ of N, corresponding to 355.5 kg ha⁻¹, provides the highest commercial fruit yield of 1.57 kg plant⁻¹ or 101.2 t ha⁻¹. At 60 DAT, 53.3 g kg⁻¹ is the critical level of N in the reference leaf dry matter. The residual nitrate content in the substrate increases with increasing N rate.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. A cultura do pimentão.....	3
2.2. Nitrogênio (N)	3
2.3. Índices nitrogenados.....	5
2.3.1. SPAD.....	5
2.3.2. Dualex	6
2.4. Cultivo em SLABS.....	8
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	9
3.5. Localização e caracterização da área experimental.....	9
3.6. Tratamentos e delineamento experimental.....	9
3.7. Instalação e condução do experimento	10
3.8. Características avaliadas	14
3.8.1. Avaliações durante a condução do experimento.....	14
3.8.1.1. Índice SPAD.....	15
3.8.1.2. Índice Dualex	15
3.8.1.3. Teor de N na folha índice aos 60 DAT.....	15
3.8.2. Determinação dos níveis críticos dos índices SPAD, NBI, CHL e FLV.....	15
3.8.3. Índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio em plantas pimentão	15
3.8.4. Índices para o prognóstico da produção de frutos de pimentão	16
3.8.5. Colheita.....	16
3.8.6. Classificação.....	16
3.8.7. Análise de nitrato e amônio no substrato	17
3.8.8. Análise estatística.....	18
4. RESULTADOS	19
4.1. Índices SPAD e DUALEX.....	19
4.2. Avaliação de níveis críticos	27
4.2.1. Níveis críticos determinados com base na produtividade máxima	27

4.2.2. Níveis críticos determinados com base no nível crítico relativo	27
4.3. Índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio da planta aos 60 DAT	28
4.4. Índices para o prognóstico da produção de frutos de pimentão	29
4.5. Massa seca da planta aos 160 DAT	30
4.6. Produtividade e classificação de frutos.....	31
4.7. Análise residual de nitrato e amônio no substrato	32
5. DISCUSSÃO	34
5.8. Índices nitrogenados.....	34
5.9. Avaliação de níveis críticos	36
5.10. Índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio da planta.....	36
5.11. Índices para o prognóstico da produtividade de pimentão	37
5.12. Massa seca da planta aos 160 DAT	38
5.13. Produtividade total, comercial e classificação de frutos	39
5.14. Teores residuais de nitrato e amônio no substrato.....	40
6. CONCLUSÕES.....	42
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

O pimentão (*Capsicum annuum* L. var. *annuum*) é uma hortaliça de grande importância socio-econômica no Brasil. Em 2017, foram produzidas aproximadamente 254 mil toneladas de frutos (IBGE, 2017). A cultura do pimentão é importante para a fixação do produtor no campo, visto que a grande parte da produção advém da agricultura familiar (PALMIERI et al., 2017). O pimentão é comercializado como fruto verde, vermelho, amarelo, laranja, creme e roxo (HORTIBRASIL, 2019) sendo o fruto de cor verde mais importante em volume de mercado (AGRIANUAL, 2019).

Com a intenção de melhorar a qualidade e a produtividade de frutos, o cultivo em ambiente protegido e o uso adequado de fertilizantes têm sido tecnologias muito utilizadas. Porém, o uso contínuo e excessivo de fertilizantes em ambiente protegido tem causado problema de salinização do solo (DIAS et al., 2005; OLIVEIRA et al., 2015).

Uma alternativa para diminuir esse problema é a produção em recipientes com ou sem a utilização do solo. O cultivo sem solo é uma técnica de produção de hortaliças que tem se expandido nos anos recentes em todo o mundo, despertando interesse na comunidade técnico-científica. A produção sem solo inclui a hidroponia, aquaponia, aeroponia e cultura em recipiente contendo substrato (SHARMA et al., 2019).

Na cultura sem solo, o substrato escolhido é apropriadamente colocado em variados tipos de recipiente, dentre os quais saco de polietileno, denominado SLAB. Essa técnica vem sendo utilizada em países europeus para o cultivo de hortaliças e no Brasil vem ganhando espaço no cultivo em ambiente protegido (PIVOTO, 2016; WAMSER, 2017; MOURA, 2018).

Em SLAB, a nutrição adequada das plantas, com destaque para o nitrogênio (N), é importante fator para minimizar custos e perdas além de aumentar a produtividade da cultura. O N, um dos nutrientes mais extraídos pelas plantas de pimentão (MARCUSSE et al., 2004; FONTES et al., 2005; EPSTEIN e BLOOM, 2006), atua na síntese de aminoácidos, enzimas, clorofila, ácidos nucleicos, em outros componentes estruturais além de participar de várias etapas dos processos metabólicos e fisiológicos sendo elemento essencial estimulador do desenvolvimento e crescimento da planta (MARSCHNER, 2012; KRAPP, 2015; TAIZ et al., 2016) e da qualidade dos frutos de pimentão (OLIVEIRA et al., 2015).

Vários trabalhos mostram correlação positiva entre a adubação nitrogenada e o aumento da produtividade do pimentão (ARAM e RANGARAJAM, 2005; AMINIFARD et al., 2012). A relação entre dose de N e produtividade é regida pela lei dos rendimentos decrescentes com o ótimo econômico próximo do ótimo físico, pois o custo do adubo nitrogenado é baixo em

relação ao preço do pimentão. Com isso, os produtores tendem a adicionar excesso de N acarretando redução tanto da eficiência do uso do N quanto da rentabilidade. Temeroso da possibilidade de perda de produtividade, o produtor tende a aplicar dose alta de N, acima da dose ótima. Tal procedimento resulta em perda de lucratividade e aumento da possibilidade de lixiviação do N remanescente provocando poluição ambiental (LV et al., 2019; VOOGT e BAR-YOSEF, 2019).

Entretanto, com o aumento nos custos de fertilizantes nitrogenados, estreitamento da margem de lucro das culturas e a preocupação com a proteção ambiental, recentemente esforços têm sido direcionados no sentido de aplicar a dose de N suficiente para obter a produtividade ótima de acordo com a “necessidade da planta”. Para tal, no momento de decidir sobre a aplicação de N em cobertura, é necessário sensoriar o estado de N da planta, via índice apropriado (FONTES, 2001; 2016). Os índices mais comuns são os relacionados à intensidade verde da folha, medidos por clorofilômetro portátil como o SPAD e Dualex. Tais índices, apropriadamente calibrados, permitem a tomada de decisão sobre a necessidade de aplicar N em cobertura (FONTES, 2016).

O índice SPAD foi utilizado para avaliar o estado de N de pimentão (GODOY et al., 2003; MADEIRA et al., 2003; MADEIRA e VARENNES, 2005; COSTA et al., 2018). Além de estimar o teor de clorofila, à semelhança do SPAD, o Dualex tem sido utilizado para aferir o estado de N indiretamente, via concentração de polifenóis (FORTIER et al., 2010) nas culturas do milho (TREMBLAY et al., 2007), trigo (CARTELAT et al., 2005), brócolis (TREMBLAY et al., 2009) e batata (MILAGRES et al., 2018). Porém, não foram encontrados relatos da utilização do Dualex na cultura do pimentão. Qualquer que seja, o índice para sensoriar o estado de N da planta precisa ser estabelecido. Isso é inexistente para a cultura do pimentão em SLAB.

O presente trabalho, com pimentão cultivado em SLAB, teve como objetivos: i) caracterizar o efeito de doses de N sobre os índices medidos com os clorofilômetros SPAD e Dualex (NBI, CHL e FLV) ao longo do ciclo da planta; ii) estabelecer o valor crítico dos índices medidos com o SPAD e Dualex ao longo do desenvolvimento da planta; iii) avaliar o efeito de doses de N sobre a biomassa de folhas, caule e raízes das plantas; iv) determinar a dose ótima de N para a produção de frutos comerciais; v) determinar o teor residual de N no substrato após o ciclo da planta.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura do pimentão

O pimentão (*Capsicum annuum* L. var. *annuum*) é uma das principais hortaliças cultivadas no Brasil e no mundo. O pimentão e as pimentas ocupam a sétima posição no ranking das hortaliças mais produzidas mundialmente, atingindo aproximadamente 34,5 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2016). O Brasil é o quarto maior produtor, após o Vietnã, Indonésia e Índia. A cultura do pimentão aparece na 10ª posição em relação às principais culturas produzidas no Brasil com aproximadamente 254 mil toneladas (FAOSTAT, 2016). São Paulo é o maior estado produtor com aproximadamente 61 mil toneladas, seguido por Goiás, Minas Gerais e Bahia (IBGE, 2017).

Em termos econômicos, no período de 2014 – 2016, o pimentão propiciou um faturamento médio anual de R\$ 483 milhões. Devido à rentabilidade, a atividade de produzir pimentão tem sido atrativa e importante para a fixação do trabalhador rural no campo, visto que a maior parte da produção é proveniente da agricultura familiar (PALMIERI et al., 2017).

A cultura do pimentão é rentável ao produtor, caso sejam seguidas recomendações técnicas apropriadas, especialmente o manejo do N. Dose adequada de N propicia condições para o adequado desenvolvimento vegetativo e reprodutivo do pimentão (AMINIFARD et al., 2018; MOLLA et al., 2019) além de reduzir custos e minimizar potenciais impactos ambientais negativos.

2.2. Nitrogênio (N)

O N é o nutriente mineral requerido em maiores quantidades pelo pimentão. Ele constitui vários componentes celulares vegetais como proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, fitohormônios, enzimas e metabólitos secundários (MARSCHNER, 2012). A deficiência de N pode ser observada com o aparecimento de clorose generalizada nas folhas, que se inicia nas folhas mais velhas e leva à redução do crescimento bem como a maturação precoce e abortamento de flores e frutos (SILVA, 2013). Por outro lado, em níveis excessivos pode levar ao desbalanço entre os órgãos vegetativos e reprodutivos, o que acarreta a redução de produtividade.

O nitrato (NO_3^-) e o amônio (NH_4^+) são as principais formas de absorção de N pelas culturas (MARSCHNER, 2012). Assim, é imprescindível que ocorra a adição adequada desses

fertilizantes de modo a suprir a necessidade da cultura. Em 2016, cerca de 110 milhões de toneladas de N foram utilizadas na agricultura mundial (FAOSTAT, 2016). Desse volume, foram gastos no Brasil cerca de 3,6 % o equivalente a 4,3 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2016).

De maneira geral, do N adicionado ao solo cerca de 50 % não é aproveitado pelas plantas, tornando-o passível de causar problemas ambientais como a poluição de água e do ar (SYLVESTER-BRADLEY e KINDRED, 2009; MARSCHNER, 2012; WANG et al., 2019). Essa situação pode ser agravada na produção de olerícolas, pelo menor impacto da adubação no custo final de produção.

No pimentão, a adição de N impacta positivamente o crescimento vegetativo e a produtividade (FONTES et al., 2005; CAMPOS et al., 2008; AMINIFARD et al., 2012). A massa seca dos órgãos da planta aumenta com o passar do tempo, sendo os frutos os principais órgãos acumuladores (FONTES et al., 2005). A recomendação de N baseada no acúmulo e exportação desse nutriente aumenta a probabilidade de acerto e mitiga os potenciais riscos ao meio ambiente. Todavia, as condições de crescimento e produção das culturas são diferenciadas, o que dificulta a adoção de uma recomendação geral da quantidade de N a ser aplicada.

Vários estudos têm buscado determinar a dose ótima para maximizar a produção de pimentão (GODOY et al., 2003; FELISBERTO et al., 2016; CARVALHO et al., 2013; COSTA et al., 2018). Para isso, experimentos têm sido conduzidos de modo a abranger ampla variabilidade de genótipos e condições de cultivo. Godoy et al. (2003), em estudo com pimentão híbrido – Elisa, sob cultivo protegido, encontraram a máxima produtividade comercial de frutos quando se aplicou 16,4 g planta⁻¹ de N. Felisberto et al. (2016), cultivando o pimentão em vasos de 22 dm³, obtiveram produtividade máxima de 1,9 kg planta⁻¹ com a adição de 14,62 g planta⁻¹ de N. A aplicação de N aumentou o diâmetro, o peso médio e o número de frutos por planta (ARAÚJO et al., 2009) sendo imprescindível para o aumento da eficiência do sistema produtivo.

A adubação nitrogenada tem forte impacto sobre o crescimento vegetativo, reprodutivo, florescimento, número e produtividade de frutos de pimentão, tanto em cultivo no campo (KHAN et al., 2010; AMINIFARD et al., 2018; MOLLA et al., 2019); no solo em ambiente protegido (SILVA et al., 1999; CAMPOS et al., 2008; ARAÚJO et al., 2009; XIANG et al., 2018; RATURI et al., 2019) e em recipiente em ambiente protegido (MARCUSI et al., 2004; AL-KARAKI et al., 2009; ARAGÃO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013; NUNES JÚNIOR et al., 2017; LORENZONI et al., 2016; WAHOCHO et al., 2016). Há esparsos relatos de

ausência do efeito da aplicação de N sobre a produtividade de frutos de pimentão (SILVA et al., 1999; 2001; SANTOS et al., 2003).

No campo, a aplicação de N aumentou significativamente a altura de plantas, o número de ramos, o número de folhas, a área foliar e a produção de frutos maduros (número e peso) de pimentão (AYODELE et al., 2015). Em vasos contendo 25 L de solo, as melhores firmeza e massas médias e total de frutos de pimentão foram alcançadas com 150 kg ha⁻¹ de N (LORENZONI et al., 2016). Ainda em vaso, com 15 kg de solo, a maior dose de N estudada, 250 kg ha⁻¹, propiciou os maiores valores das características de crescimento e produtividade do pimentão, como altura de planta, número de hastes, comprimento de fruto, número e massa de frutos por planta (WAHOCHO et al., 2016). Com base na curva de acúmulo de N pelo pimentão colhido maduro, em ambiente protegido, FONTES et al. (2005) propuseram a adoção da dose de 11,4 g planta⁻¹ de N e calendário quinzenal de aplicação via água de irrigação.

O N, por ser intensamente utilizado nas culturas, é também importante contaminante ambiental. Portanto, o aumento da eficiência do uso de nitrogênio (EUN) é fundamental para incrementar a produtividade, reduzir custos de produção e manter a qualidade ambiental (FAGERIA e BALIGAR, 2005), sem prejudicar a produção ou a qualidade dos frutos (YASUOR et al., 2013).

Tendo em vista a dificuldade de determinar o teor de N no solo com procedimentos rotineiros, há a proposta de aplicar o N com base em medições na planta. Para isso, vários equipamentos e procedimentos têm sido propostos (FONTES, 2016). Dentre os quais destacam-se o SPAD e o Dualex que, apropriadamente calibrados, propiciam índices nitrogenados indicadores do estado de N da planta e a possível necessidade de aplicar o N.

2.3. Índices nitrogenados

2.3.1. SPAD

O SPAD (*Soil Plant Analysis Development*) é um clorofilômetro que permite determinar a intensidade do verde da folha. De forma geral e para a grande maioria das plantas cultivadas, o índice SPAD correlaciona-se positivamente com o teor de clorofila da folha e com o estado de N da planta (FONTES, 2016). O equipamento possui LEDs que emitem luz vermelha e infravermelha através da folha atingindo o receptor que faz a conversão e mostra o índice SPAD. Quanto mais intenso for o verde da folha maior será o índice SPAD (MINOLTA, 1989). No Brasil, o equipamento foi pioneiramente usado por Guimarães (1998) na cultura do tomate.

A determinação da situação de N na planta de pimentão utilizando o SPAD possui vantagens por ser método rápido e não-destrutivo, permitindo o acompanhamento do estado de N na folha durante o ciclo da cultura. Isso pode permitir a correção de eventuais falhas no programa de adubação nitrogenada, reduz custos e decresce a chance de adição excessiva de N e, conseqüentemente a contaminação do meio ambiente. Todavia, para se obter boa performance faz-se necessário a calibração dos índices obtidos com o instrumento (FONTES, 2016). Tendo em vista a importância do N para a cultura do pimentão e a praticidade da utilização do SPAD, vários autores propuseram a utilização do índice SPAD como critério para diagnóstico do estado de N (GODOY et al., 2003; MADEIRA et al., 2003; MADEIRA e VARENNE, 2005).

2.3.2. Dualex

O Dualex (Force-A, Orsay, France) é um dispositivo portátil que combina a fluorescência e transmitância da luz para determinar o estado de N da folha. O Dualex (*dual excitation*) calcula o conteúdo de clorofila da folha (CHL), o índice de flavonoides (FLV) obtido através da absorvância da luz UV pela epiderme da folha e o índice de balanço de nitrogênio (NBI) determinado pela relação entre CHL e FLV. A determinação desses índices é conseguida devido à emissão de luz em diferentes comprimentos de onda capazes de identificar polifenóis e a clorofila (GOULAS et al., 2004).

O funcionamento do aparelho baseia-se no fato de que quando a clorofila é iluminada, ela emite fluorescência. Assim, no momento da medição, essa emissão de fluorescência é induzida pela luz UV e vermelho. Na folha, a epiderme absorve a luz UV enquanto transmite a luz vermelha (Figura 1). Assim, comparando a fluorescência induzida pela luz UV com a induzida pela luz vermelha, pode-se determinar a absorvância da epiderme. Desse modo, para a determinação de FLV, a radiação é altamente absorvida pela epiderme enquanto transmite quase toda luz vermelha. Assim, o Dualex mede quantitativamente a absorção da luz UV pela folha (FORCE-A, 2011).

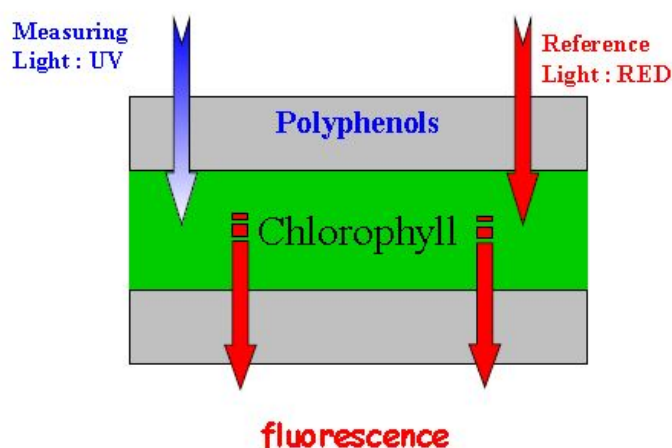


Figura 1. Descrição de fluorescência e absorção da luz, emitida pelo Dualex, pelas plantas.
Fonte: FORCE-A (2011)

Para a determinação do índice CHL, o aparelho emite dois diferentes comprimentos de onda na região do infra-vermelho próximo. Um dos comprimentos de onda é absorvido pela clorofila e, por diferença, é calculada a transmitância pela folha (Figura 2)

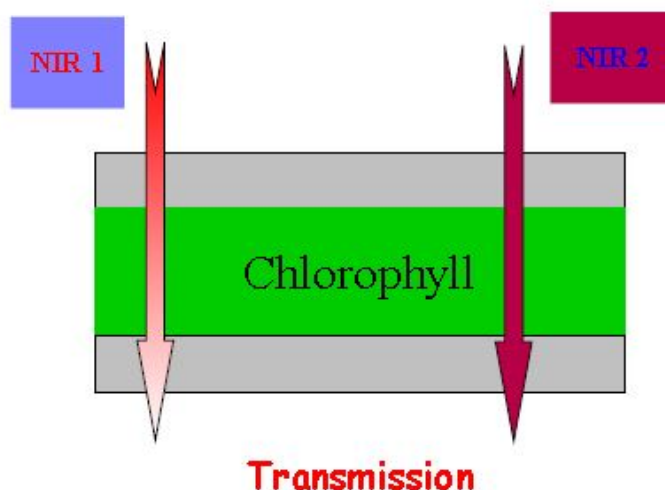


Figura 2. Transmissão diferenciada dos dois comprimentos de onda emitidos pelo Dualex na região do infravermelho próximo
Fonte: FORCE-A (2011)

Ambos, CHL e FLV, são altamente correlacionados com a concentração de N na folha. A deficiência de N leva à diminuição dos valores de CHL e aumento no teor de FLV. Assim, a relação entre CHL e FLV é uma boa indicadora do teor de N na folha (CARTELAT et al., 2005). Portanto o Dualex é uma boa alternativa para avaliar a situação de N em tempo real, sendo não-destrutiva, não-invasiva, rápida e de fácil utilização (TREMBLAY et al., 2007). A aplicabilidade do Dualex tem sido testada em culturas como o milho (TREMBLAY et al., 2007), trigo (CARTELAT et al., 2005), brócolis (TREMBLAY et al., 2009) e batata

(MILAGRES et al., 2018). Não foram encontrados relatos de avaliação de Dualex na cultura do pimentão.

2.4. Cultivo em SLABS

O cultivo em SLAB, também denominado cultivo semi-hidropônico ou em saco, de polietileno preto ou branco, é uma técnica amplamente utilizada em países Europeus (PIVOTO, 2016; WAMSER, 2017). O tamanho do SLAB pode variar conforme a necessidade, porém em geral, o tamanho dos sacos é 1,50 x 0,50 m e 0,30 m de diâmetro quando cheios, os quais são preenchidos com substrato, em torno de 50 a 60 L (SLABS, 2017).

O substrato utilizado nos SLABS envolve a utilização de materiais de variadas naturezas, origem e composição, orgânica ou inorgânica, natural ou sintético, que sejam capazes de sustentar adequado desenvolvimento e produtividades da planta. A utilização de saco plástico contendo substrato na produção de tomate tem sido avaliada em teses na UFV (LOURES, 1997; 2001; CECON NOVO, 2002; OLIVEIRA, 2004). Diversos substratos orgânicos e inorgânicos como lã de rocha, turfa, perlita e casca de coco tem sido propostos, dependendo da espécie, localidade, custo, longevidade (OTHMAN et al., 2019). Seja qual for o substrato, a produção de pimentão demanda sistemas sustentáveis (CARUSO et al., 2019), sem impactos ambientais causados pela lixiviação de íons, principalmente de N (VOOGT e BAR-YOSEF, 2019; LV et al., 2019).

Provavelmente, o cultivo sem solo, em substrato, vem se expandindo devido à busca de produção de alimentos de qualidade, ao acúmulo de pragas no solo, pela incidência de salinização das camadas superficiais do solo ao longo do tempo, pela necessidade de otimizar o uso da área e pela busca de gestão eficiente de recursos, principalmente água e fertilizantes (SINGH et al., 2019). Dessa forma, a utilização dos SLABS é vantajosa pois permite a produção na mesma área por mais tempo, diminuição da mão de obra, principalmente no controle de ervas daninhas e redução de problemas fitossanitários (SLABS, 2017).

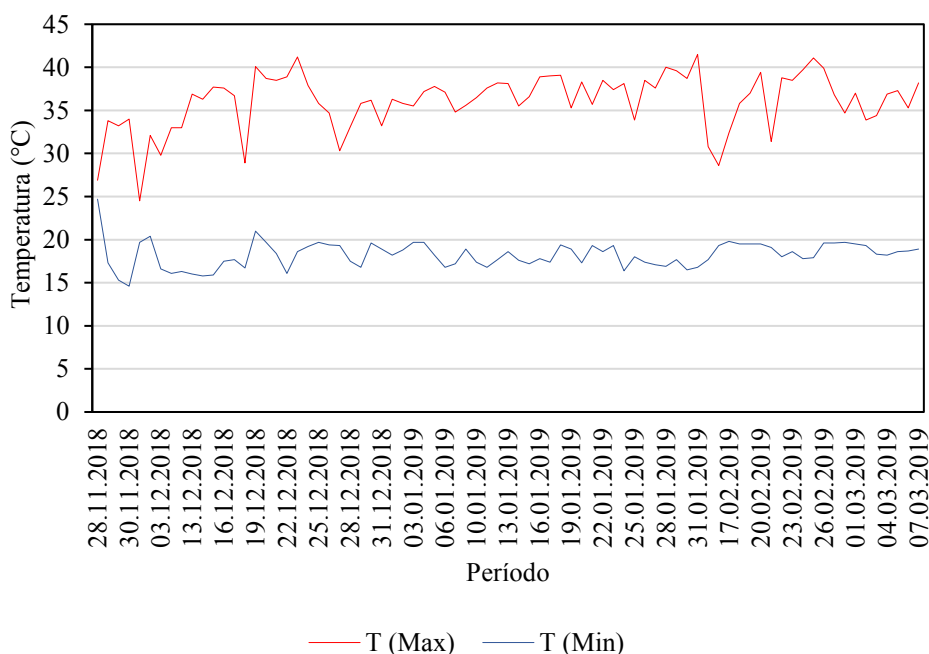
No Brasil, a técnica está sendo utilizada com frequência em cultivos de morangueiros na região Sul do Brasil (PIVOTO, 2016; GONÇALVES et al., 2016). São raros os trabalhos buscando caracterizar a produção e partição da matéria seca nos órgãos da planta de pimentão em SLAB em função da disponibilidade de N às raízes que, sabidamente, interfere na partição da sacarose para os diferentes órgãos da planta de pimentão (SILVA et al., 2019).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.5. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido na Estação Experimental da Universidade Federal de Viçosa, denominada Horta Velha (20°45'S, 45°52'O), com altitude média de 650 m, no período de outubro/2018 a março/2019. O experimento foi instalado em ambiente protegido, do tipo Capela, com dimensões de 9 x 30 m e altura de 4,0 m, com cobertura de polietileno aditivado, com 150 micra de espessura, sem fechamento lateral. A partir do florescimento, foram registradas as temperaturas mínimas e máximas ocorridas no interior da casa de vegetação (Tabela 1).

Tabela 1. Temperaturas máximas e mínimas registradas no interior da casa de vegetação a partir do florescimento.



3.6. Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos por seis doses de N (0; 1,5; 3,0; 4,5; 6,0 e 7,5 g planta⁻¹) sendo 5 % de cada dose aplicada diretamente no substrato, imediatamente antes de ser ensacado. A quantidade restante do N foi parcelada em 10 vezes, a cada 15 dias (Tabela 2). Cada parcela experimental foi constituída por um SLAB contendo 4 plantas. O experimento foi instalado no delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições.

Tabela 2. Parcelamento das doses de N durante o ciclo

Quinzena	Fonte	Cronograma Fertirrigação (g planta ⁻¹)					
		T1	T2	T3	T4	T5	T6
1	Sulfato de Amônio	0	0,091	0,182	0,273	0,364	0,455
2	Sulfato de Amônio	0	0,105	0,210	0,316	0,421	0,526
3	Nitrato de cálcio	0	0,119	0,239	0,358	0,478	0,597
4	Nitrato de cálcio	0	0,125	0,249	0,374	0,498	0,623
5	Nitrato de cálcio	0	0,134	0,267	0,401	0,535	0,668
6	Nitrato de cálcio	0	0,143	0,286	0,428	0,571	0,714
7	Nitrato de cálcio	0	0,156	0,312	0,468	0,625	0,781
8	Nitrato de cálcio	0	0,170	0,340	0,511	0,681	0,851
9	Nitrato de cálcio	0	0,184	0,368	0,551	0,735	0,919
10	Nitrato de cálcio	0	0,198	0,396	0,595	0,793	0,991

3.7. Instalação e condução do experimento

As mudas de pimentão, cultivar Arcade-F1, adquiridas junto à empresa Semearte®, foram transplantadas no dia 23 de outubro de 2018 para o saco plástico, denominado SLAB (1,0 x 0,4 m), preenchido com 40 dm³ de substrato adubado. O substrato foi constituído da mistura de solo retirado da camada arável em área não cultivada comercialmente, areia e esterco na proporção de 2:1:1, respectivamente. Uma amostra composta do substrato foi coletada e enviada ao laboratório para análises física e química (Tabela 3). Antes de ser colocado no SLAB, o substrato de cada SLAB foi adubado com 5 % da dose de N pré-estabelecida para cada tratamento; 160 g de superfosfato simples (18 % de P₂O₅); 0,8 g de KCl (60 % de K₂O, correspondente a 5 % da dose total); 16,89 g de sulfato de magnésio (9 % de Mg); 1,0 g de bórax (11 % de B); 200 mg de sulfato de zinco (22 % de Zn); 320 mg de sulfato de cobre (24 % de Cu); e 20 mg de molibdato de amônio (54 % de Mo). A aplicação adicional de K foi realizada de forma parcelada em 10 vezes ao longo do ciclo totalizando 15,27 g SLAB⁻¹ de KCl.

Tabela 3. Características químicas e físicas do substrato utilizado no experimento.

Característica	Valor	Característica	Valor
pH – H ₂ O	6,00	Matéria Orgânica (dag kg ⁻¹) ⁴	5,32
P (mg dm ⁻³) ¹	82,60	Areia grossa (kg kg ⁻¹)	0,47
K (mg dm ⁻³) ¹	438,00	Areia fina (kg kg ⁻¹)	0,11
Ca ²⁺ (cmolc dm ⁻³) ²	2,37	Silte (kg kg ⁻¹)	0,03
Mg ²⁺ (cmolc dm ⁻³) ²	1,41	Argila (kg kg ⁻¹)	0,40
Al ³⁺ (cmolc dm ⁻³) ²	0,00	Densidade do substrato (g cm ⁻³)	1,08
H + Al (cmolc dm ⁻³) ³	1,50	Densidade de partículas (g cm ⁻³)	2,51
Soma de bases	4,90	CRA -10 kPa (kg kg ⁻¹) ⁵	0,29
CTC total (cmolc dm ⁻³)	6,40	CRA -30 kPa (kg kg ⁻¹) ⁵	0,25
Saturação por bases (%)	76,60	CRA -1500 kPa (kg kg ⁻¹) ⁵	0,17
CTC efetiva (cmolc dm ⁻³)	4,90	Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	339,00

¹Extrator Mehlich – 1; ²Extrator KCl 1 mol L⁻¹; ³Extrator Ca (OAc)2 0,5 mol L⁻¹ – pH 7,0; ⁴C.Org x 1,724 – Walkley-Black; CRA – Curva de retenção da água no solo

Dentro do ambiente protegido, os SLABS foram dispostos longitudinalmente em bancada suspensa a 0,1 m do chão, em fileiras duplas. As distâncias entre fileiras simples e duplas foram 0,50 m e 1,05 m medidos de centro a centro do SLAB, respectivamente (Figura 3). Cada SLAB continha 4 plantas espaçadas 0,2 m entre si, que foram transplantadas quando apresentavam 2 pares de folhas definitivas. Com esse arranjo, a área útil de cada parcela foi 0,62 m² e o número de plantas foi 6,45 plantas m⁻², ou seja, cada planta ocupou a área de 0,155 m², totalizando 64.516 plantas ha⁻¹.

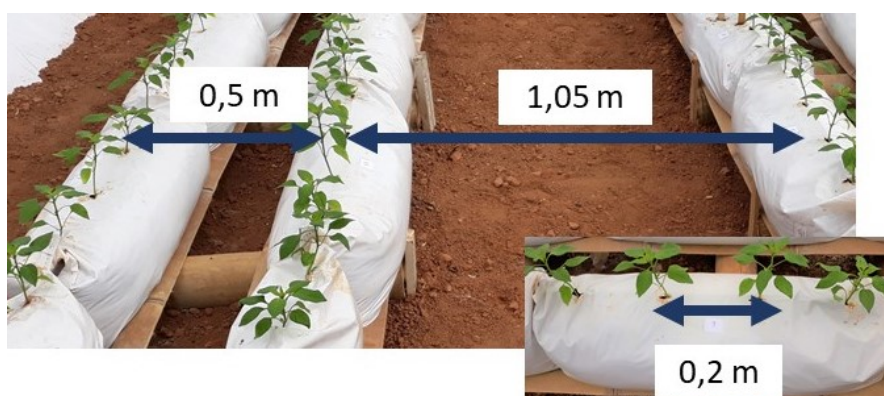


Figura 3. Disposição dos SLABS na área experimental.

Para a aplicação parcelada de N foi utilizado um aparato adaptado com garrafa “pet” acoplada a um suporte com 2,5 m de altura (Figura 4). A fonte de N nos primeiros 30 dias após

transplântio (DAT) foi o sulfato de amônio (20 % de N); no restante do ciclo foi o nitrato de cálcio (15 % de N e 19 % de Ca).



Figura 4. Estrutura utilizada para aplicação diferenciada de doses de nitrogênio às plantas.

A irrigação foi realizada por gotejamento com gotejador autocompensante (sistema aranha) constituído por uma mangueira com 16 mm de diâmetro, onde foram acoplados manifolds com 2 saídas para microtubos de 3 mm contendo um emissor do tipo estaca para vaso na ponta (Figura 5). Cada saída foi colocada 5 cm distanciadas da planta. O sistema tinha as seguintes características: pressão recomendada 50 kPa; vazão a $4,0 \text{ L h}^{-1}$ e espaçamento entre gotejadores de 20 cm. O manejo da irrigação foi realizado com base em tensiometria e pelo método prático da tato-aparência, a fim de manter a umidade do substrato sempre próximo da capacidade de campo.



Figura 5. Disposição do sistema de irrigação nos SLABS

Durante a condução do experimento, foram realizados tratamentos culturais como desbrota, retirada da primeira flor na primeira bifurcação, pulverizações, entre outros. Não foram realizadas podas durante o ciclo. Por ocasião do aparecimento do primeiro nó (primeira bifurcação), as plantas foram tutoradas com o sistema do tipo espaldeira na linha. O croqui da área experimental com as dimensões do espaço utilizado na casa de vegetação é mostrado na Figura 6.

3.8.1.1. Índice SPAD

O índice SPAD (*Soil Plant Analysis Development*) foi determinado com o medidor portátil de clorofila SPAD-502 (Konica-Minolta, Tóquio, Japão). A medição foi realizada pela manhã, entre 8:00 e 10:00 horas, sendo o valor obtido por meio de leitura direta na folha.

3.8.1.2. Índice Dualex

Esse índice foi obtido com o medidor Dualex (Force-A, Orsay, França), onde foram determinados o índice de clorofila (CHL), índice de flavonóis (FLV) e índice balanceado de nitrogênio (NBI), sendo este último dado pela razão de CHL/FLV. A avaliação foi feita entre 8:00 e 10:00 horas, por meio de leitura direta na folha.

3.8.1.3. Teor de N na folha índice aos 60 DAT

Aos 60 dias após o transplante, foram coletadas amostras das folhas índices imediatamente após a leitura do índice SPAD e do Dualex. As amostras foram acondicionadas em sacos plástico e levadas ao laboratório para lavagem, sendo então colocadas em estufa a 60 °C com circulação de ar forçada. Após a secagem, as amostras foram trituradas em moinho tipo Wiley, equipado com peneira de 20 mesh. A determinação do teor de N total foi realizada de acordo com Bremer, 1965. Para isso, 0,2 g de cada amostra foi pesada e digerida em ácido sulfúrico concentrado. Em seguida, procedeu-se com destilação pelo método de Kjeldahl e posterior titulação com ácido clorídrico. De acordo com o volume de ácido gasto na titulação, determinou-se o teor de N na amostra.

3.8.2. Determinação dos níveis críticos dos índices SPAD, NBI, CHL e FLV

A determinação dos níveis críticos dos índices obtidos com o SPAD e Dualex foi realizada substituindo-se nas equações ajustadas para cada época de avaliação, a dose que maximizou a produção de frutos comerciais no ciclo de cultivo, seguindo a metodologia proposta por Fontes e Ronchi (2002). O Índice Crítico Relativo (ICR) foi obtido pela relação entre a média das medidas do SPAD nas plantas dos tratamentos e a média nas plantas que receberam a maior dose (7,5 g planta⁻¹) para cada época de avaliação. Adotou-se o nível crítico de 95 % para comparação entre os resultados obtidos.

3.8.3. Índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio em plantas pimentão

Os índices para a avaliação do estado nitrogenado da planta foram determinados com base na significância da correlação entre as características determinadas na folha referência e o teor de N na matéria seca da folha referência coletada aos 60 DAT.

3.8.4. Índices para o prognóstico da produção de frutos de pimentão

A determinação dos índices para o prognóstico da produção de frutos de pimentão foi feita com base na significância da correlação entre as características determinadas na folha referência e produtividade comercial.

3.8.5. Colheita

A colheita foi realizada entre o período de 15/01/2019 a 25/03/2019. Os frutos foram colhidos quando apresentavam coloração verde brilhante e consistência firme. A massa fresca (g planta^{-1}) dos frutos das categorias comerciais e não-comerciais foram determinadas pela pesagem em balança analítica para determinação da produtividade total e comercial.

3.8.6. Classificação

Após a colheita, os frutos foram classificados quanto à classe, subclasse e quanto a presença de defeitos (graves e leves) de acordo com a classificação proposta pela Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo (CEAGESP, 2015). Foram considerados frutos de categoria comercial aqueles com ausência de defeitos e que apresentavam tamanho mínimo para ser agrupado em uma das classes e subclasses propostas (Figura 7).

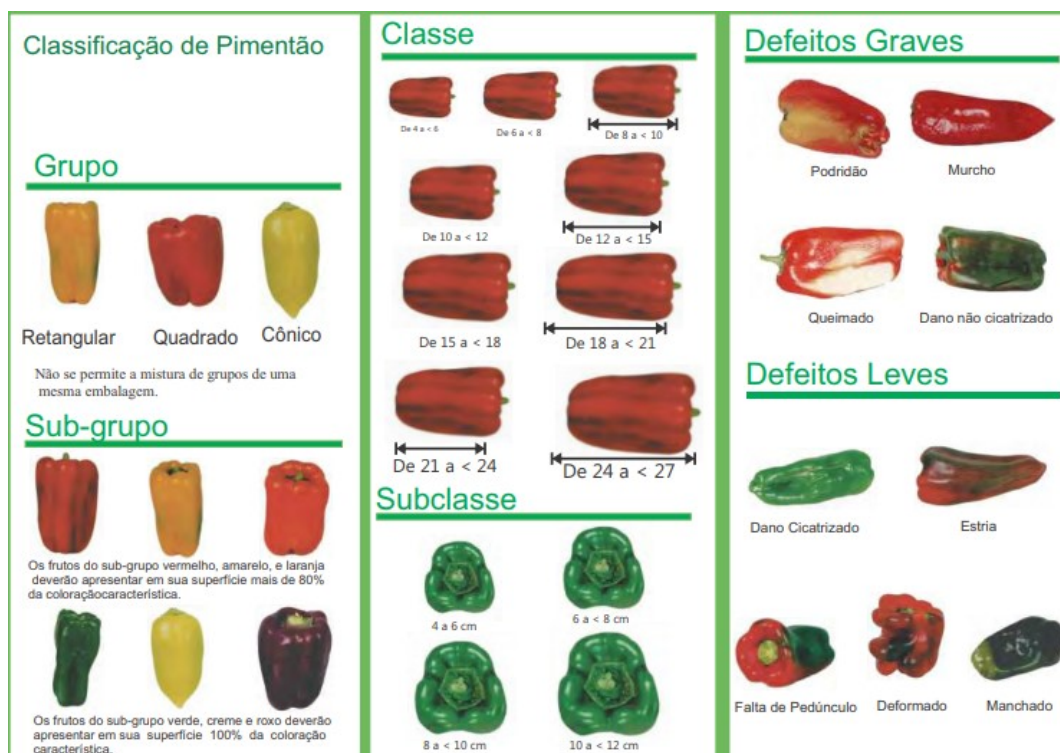


Figura 7. Classificação de frutos de pimentão proposto pelo CEAGESP/SP
Fonte: CEAGESP (2015)

3.8.7. Análise de nitrato e amônio no substrato

A determinação do teor residual de nitrato (NO_3^-) e amônio (NH_4^+) no substrato foi realizada de acordo com a metodologia proposta pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (SILVA et al., 2010). Para isso, aos 160 DAT, após a retirada das plantas, foram coletadas amostras do substrato presente em cada SLAB, acondicionadas em sacos plásticos e colocadas em caixa de isopor com gelo e levadas ao laboratório. No laboratório, 50 g de solo úmido foram adicionados à Erlenmeyer contendo 150 mL de KCl (2 mol L^{-1}) e colocados em agitador horizontal a 200 rpm por 2 horas. Após a extração, as amostras foram filtradas utilizando-se papel de filtro qualitativo e pipetou-se 10 mL do filtrado para tubos de digestão com capacidade para 100 mL. Para a determinação do amônio, adicionou-se uma medida de óxido de magnésio (aproximadamente 0,2 g) em cada tubo e realizou-se a destilação no aparelho de destilação Kjeldahl, coletando-se o destilado em frasco contendo indicador ácido bórico. Para a determinação de NO_3^- , adicionou-se, no mesmo tubo, uma medida (aproximadamente 0,2 g) de liga de Devarda e realizou-se o mesmo procedimento. Os destilados foram titulados com HCl ($0,010 \text{ mol L}^{-1}$). O teor de NO_3^- e NH_4^+ foram obtidos pela equação 1.

$$N - NH_4^+ \text{ ou } NO_3^- = \left[\frac{(Vac - Vbr) \times 14.007 \times Nac \times fc}{Val} \right] \times \left[\frac{(Vt + Vaa)}{Ps \times 10^{-3}} \right] \quad (\text{eq 1})$$

Onde:

N-NH₄⁺ = concentração de amônio no substrato (mg kg⁻¹);

N-NO₃⁻ = quantidade de nitrato no substrato (mg kg⁻¹);

Vac = volume de ácido sulfúrico gasto na titulação da amostra (mL);

Vbr = volume do ácido sulfúrico gasto na titulação do branco de análise (mL);

Nac = normalidade do HCl utilizado;

fc = fator de correção da concentração de HCl

Val = volume da alíquota usada na destilação (mL);

Vt = volume total de extrato utilizado no processo de extração (mL);

Vaa = volume de água pré-existente na amostra (mL);

Ps = massa de substrato seco (g).

3.8.8. Análise estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância, regressão e correlação utilizando-se o software estatístico R. Os modelos de regressão foram escolhidos baseados no significado biológico, na significância dos coeficientes de regressão pelo teste F utilizando o nível de 5% de probabilidade e coeficiente de determinação (R²).

4. RESULTADOS

4.1. Índices SPAD e DUALEX

Houve efeito de dose de N sobre os índices SPAD avaliados aos 45, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 DAT. As equações ajustadas e os gráficos que representam a relação entre doses de N e o índice SPAD ao longo do ciclo estão listadas na Tabela 4 e Figura 8, respectivamente.

Tabela 4. Equações ajustadas da relação entre o índice SPAD e doses de nitrogênio ao longo do ciclo do pimentão cultivado em SLAB.

DAT	Equações ajustadas - SPAD	R ²
15	$\bar{y} = 44,31$	-
30	$\bar{y} = 54,24$	-
45	$y = 59,81 + 0,61 \cdot \text{Dose}$	0,52
60	$\bar{y} = 59,09$	-
75	$y = 44,94 + 1,05 \cdot \text{Dose}$	0,89
90	$y = 41,56 + 1,83 \cdot \text{Dose}$	0,97
105	$y = 43,93 + 1,78 \cdot \text{Dose}$	0,88
120	$y = 35,67 + 4,97 \cdot \text{Dose} - 0,43 \cdot \text{Dose}^2$	0,94
135	$y = 38,45 + 4,60 \cdot \text{Dose} - 0,35 \cdot \text{Dose}^2$	0,96
150	$y = 36,46 + 6,09 \cdot \text{Dose} - 0,46 \cdot \text{Dose}^2$	0,99

* - Significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F.

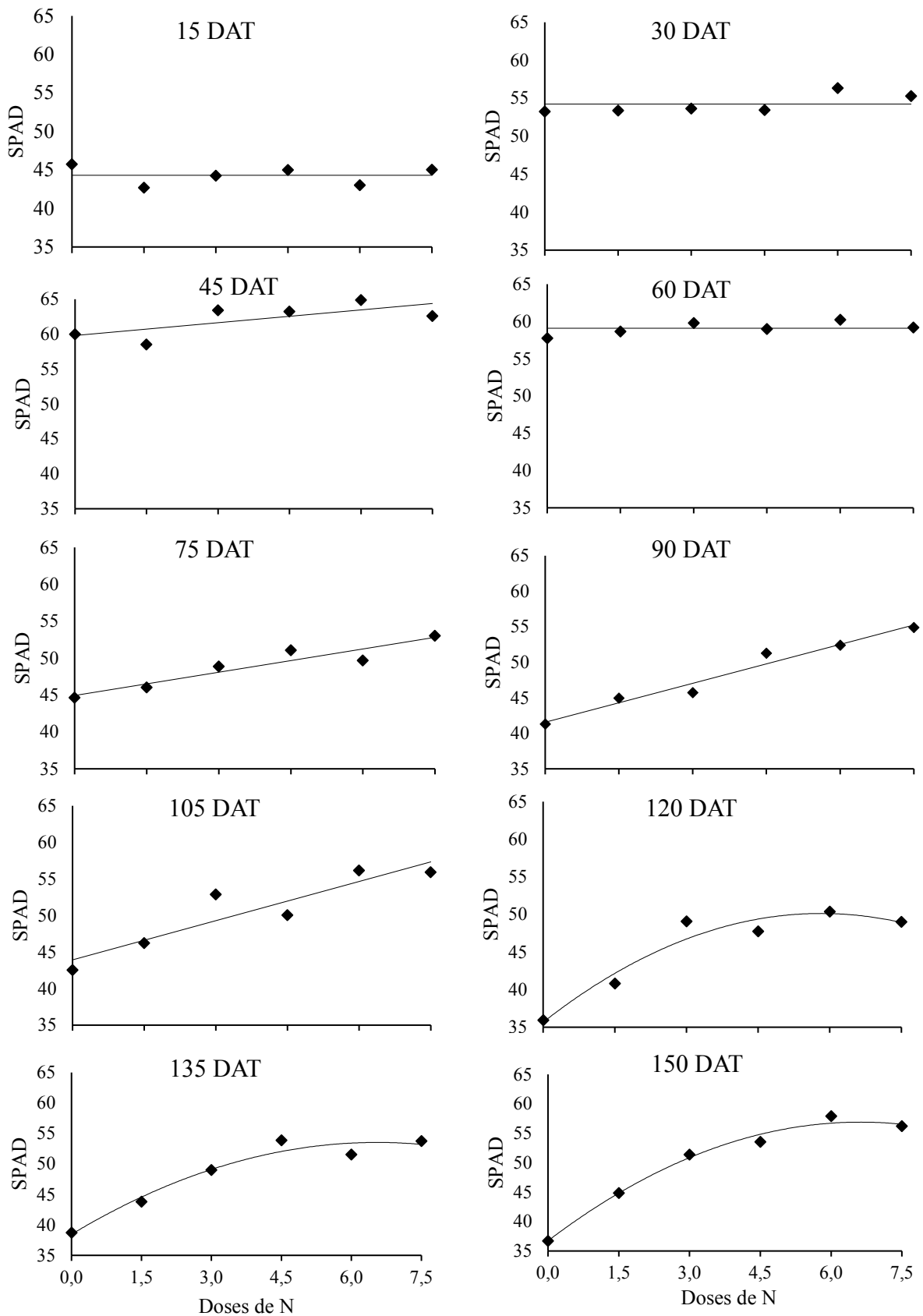


Figura 8. Relação entre o índice SPAD e doses de nitrogênio (N) ao longo do ciclo do pimentão cultivado em SLAB.

Houve efeito de dose de N sobre o índice CHL avaliado aos 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 DAT. As equações ajustadas e os gráficos que representam a relação entre doses de N e o índice CHL ao longo do ciclo estão listadas na Tabela 5 e Figura 9, respectivamente.

Tabela 5. Equações ajustadas da relação entre o índice clorofila (CHL) e doses de nitrogênio ao longo do ciclo do pimentão cultivado em SLAB.

DAT	Dualex - CHL	R ²
15	$\bar{y} = 39,17$	-
30	$y = 43,75 + 0,56 * \text{Dose}$	0,83
45	$y = 52,92 + 0,54 * \text{Dose}$	0,83
60	$y = 46,07 + 0,51 * \text{Dose}$	0,77
75	$y = 34,75 + 0,94 * \text{Dose}$	0,90
90	$y = 32,05 + 1,82 * \text{Dose}$	0,96
105	$y = 35,57 + 1,91 * \text{Dose}$	0,99
120	$y = 30,77 + 4,66 * \text{Dose} - 0,46 * \text{Dose}^2$	0,95
135	$y = 33,15 + 3,11 * \text{Dose} - 0,21 * \text{Dose}^2$	0,98
150	$y = 29,73 + 5,39 * \text{Dose} - 0,42 * \text{Dose}^2$	0,99

* - Significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F.

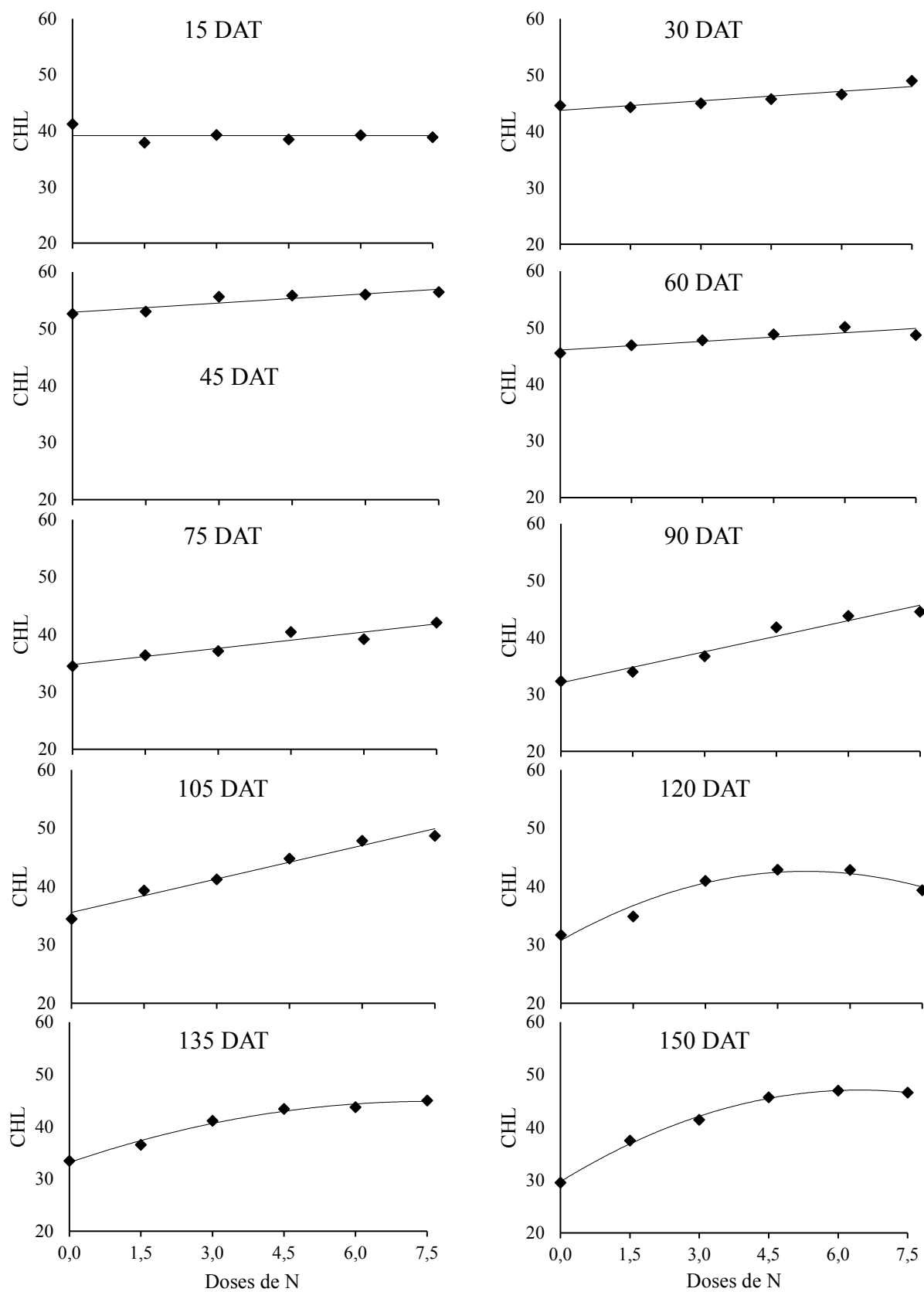


Figura 9. Relação entre o índice clorofila (CHL) e doses de nitrogênio (N) ao longo do ciclo do pimentão cultivado em SLAB.

Houve efeito de dose de N sobre o índice FLV avaliado aos 75, 90, 120, 135 e 150 DAT. As equações ajustadas e os gráficos que representam a relação entre doses de N e o índice FLV ao longo do ciclo estão listadas na Tabela 6 e Figura 10, respectivamente.

Tabela 6. Equações ajustadas da relação entre o índice flavonoide (FLV) e doses de nitrogênio ao longo do ciclo do pimentão cultivado em SLAB.

DAT	Dualex - FLV	R ²
15	$\bar{y} = 1,25$	-
30	$\bar{y} = 1,13$	-
45	$\bar{y} = 1,41$	-
60	$\bar{y} = 1,43$	-
75	$y = 1,93 - 0,05 * \text{Dose}$	0,96
90	$y = 2,02 - 0,03 * \text{Dose}$	0,92
105	$\bar{y} = 1,80$	-
120	$y = 1,65 - 0,03 * \text{Dose}$	0,54
135	$y = 1,79 - 0,03 * \text{Dose}$	0,76
150	$y = 1,64 - 0,03 * \text{Dose}$	0,61

* - Significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F.

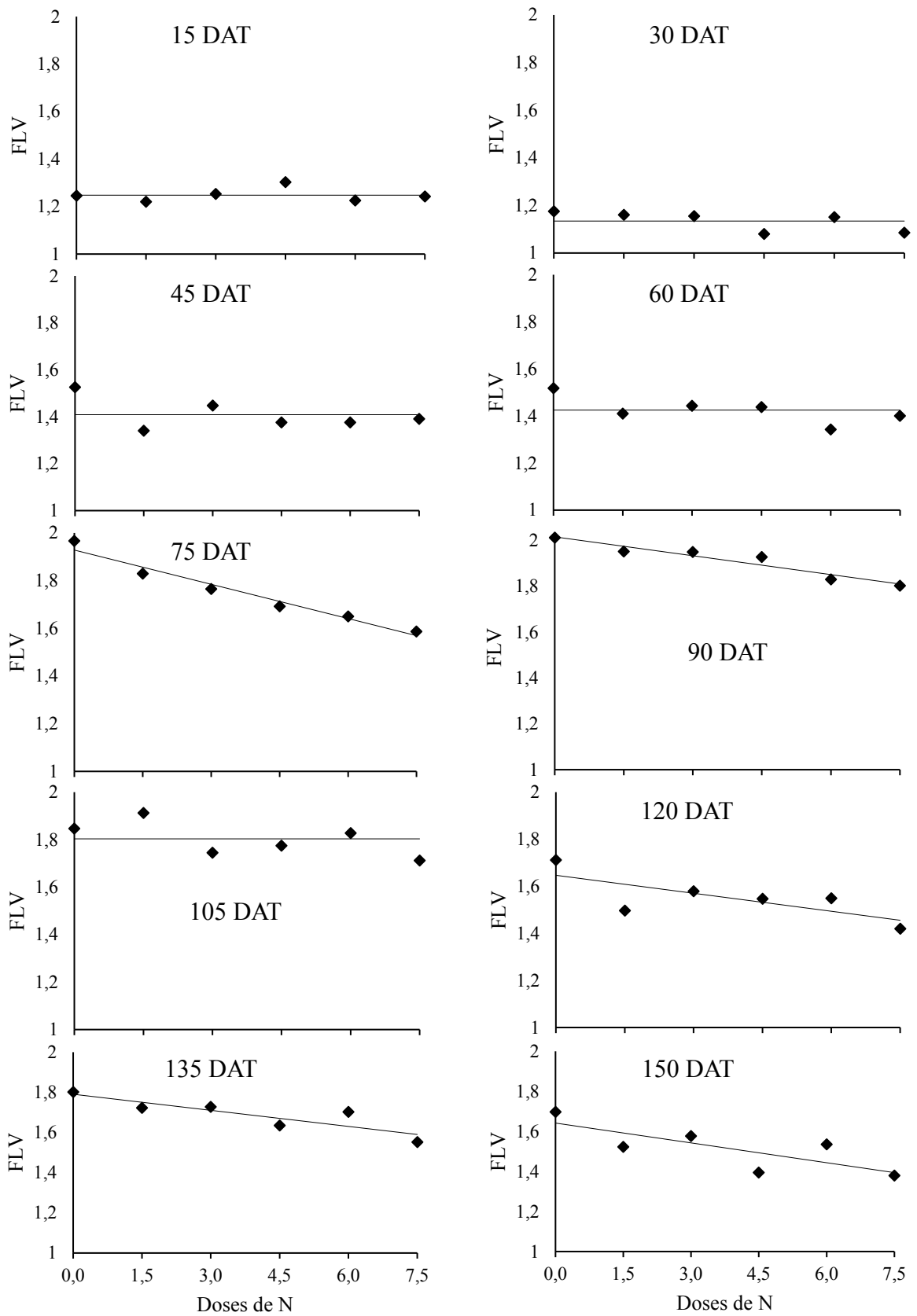


Figura 10. Relação entre o índice flavonoide (FLV) e doses de nitrogênio (N) ao longo do ciclo do pimentão cultivado em SLAB.

Houve efeito de dose de N sobre o índice NBI avaliado aos 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135 e 150 DAT. As equações ajustadas e os gráficos que representam a relação entre doses de N e o índice NBI ao longo do ciclo estão listadas na Tabela 7 e Figura 11, respectivamente.

Tabela 7. Equações ajustadas da relação entre o índice balanço de nitrogênio (NBI) e doses de nitrogênio ao longo do ciclo do pimentão cultivado em SLAB.

DAT	Dualex - NBI	R ²
15	$\bar{y} = 31,58$	-
30	$y = 37,39 + 0,96 * \text{Dose}$	0,84
45	$y = 36,65 + 0,79 * \text{Dose}$	0,67
60	$y = 31,41 + 0,72 * \text{Dose}$	0,63
75	$y = 17,97 + 1,16 * \text{Dose}$	0,95
90	$y = 15,80 + 1,20 * \text{Dose}$	0,99
105	$y = 19,20 + 1,32 * \text{Dose}$	0,98
120	$y = 20,09 + 1,21 * \text{Dose}$	0,72
135	$y = 19,45 + 1,34 * \text{Dose}$	0,93
150	$y = 18,34 + 4,20 * \text{Dose} - 0,30 * \text{Dose}^2$	0,92

* - Significativo a 5 % de probabilidade pelo teste F.

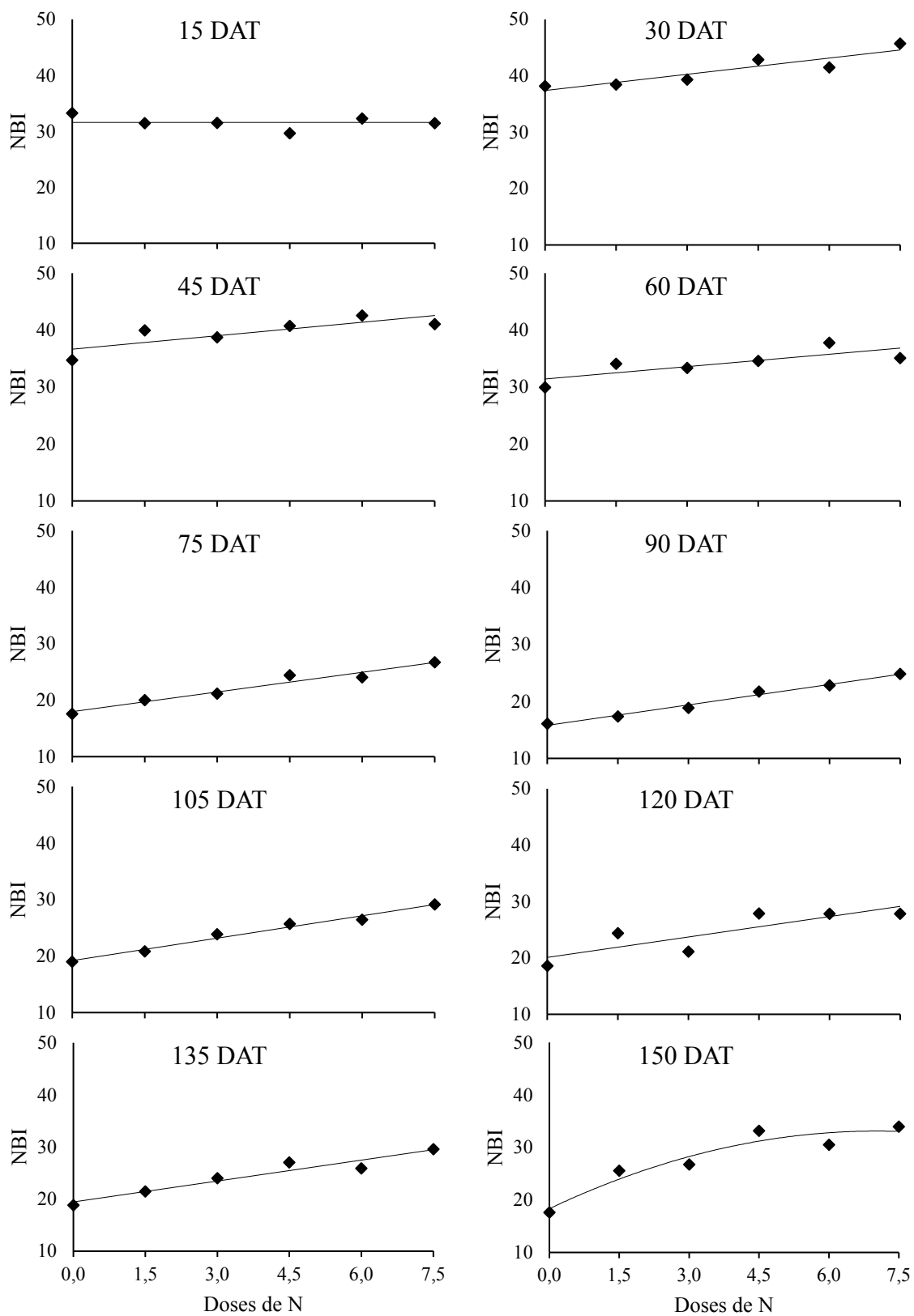


Figura 11. Relação entre o índice de balanço de nitrogênio (NBI) e doses de nitrogênio (N) ao longo do ciclo do pimentão cultivado em SLAB.

4.2. Avaliação de níveis críticos

4.2.1. Níveis críticos determinados com base na produtividade máxima

O valor do nível crítico dos índices SPAD, NBI, CHL e FLV, ao longo do ciclo de cultivo, estão listados na Tabela 8.

Tabela 8. Níveis críticos dos índices SPAD, NBI, CHL e FLV ao longo do ciclo da planta de pimentão associados à dose de N que propiciou a produção máxima de frutos.

Índices	Dias após o transplântio									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
SPAD	44,31	54,24	63,17	59,09	50,73	51,64	53,74	50,00	53,17	56,05
NBI	31,58	42,68	41,00	35,38	24,36	22,41	26,47	26,76	26,83	32,37
CHL	39,17	46,84	55,90	48,88	39,93	42,09	46,09	42,48	43,91	46,68
FLV	1,25	1,13	1,41	1,43	1,65	1,85	1,80	1,48	1,62	1,47

4.2.2. Níveis críticos determinados com base no nível crítico relativo

O comportamento do índice crítico relativo (ICR) baseado no medidor SPAD para cada dose estudada ao longo do ciclo do pimentão é mostrado na Figura 12. As doses acima de 4,5 g planta⁻¹ foram eficientes em manter o ICR acima de 95 % durante o ciclo enquanto houve decréscimo acentuado do ICR a partir dos 60 DAT para as doses mais baixas de N.

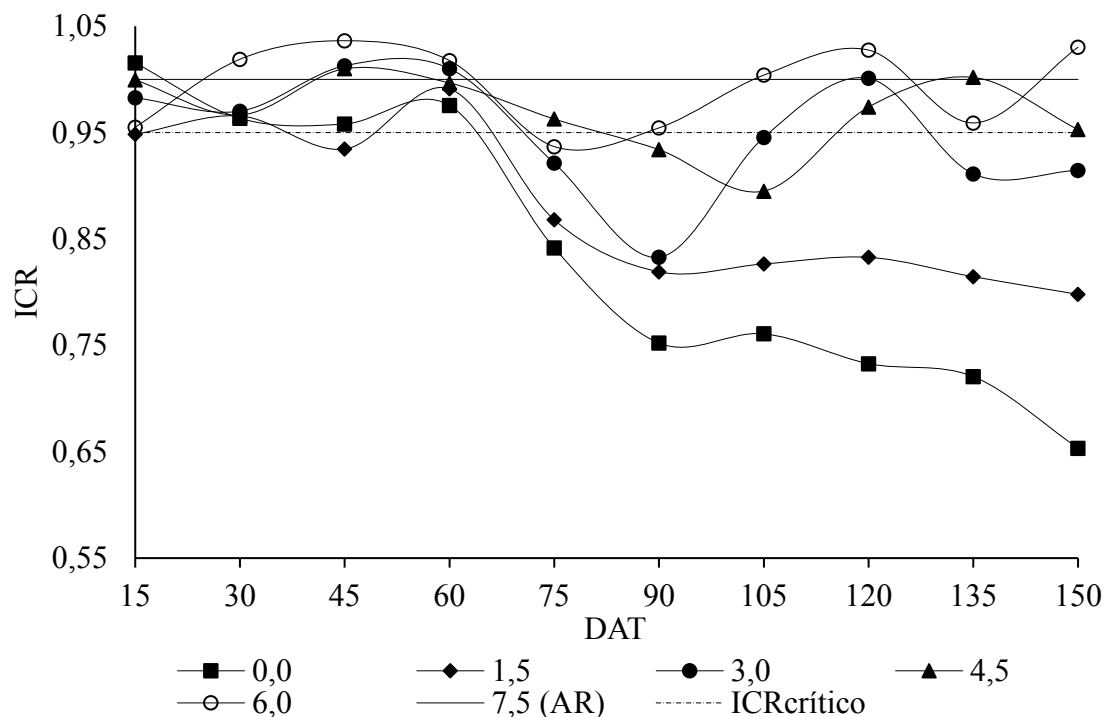


Figura 12. Índice crítico relativo baseado no índice SPAD para cada dose ao longo do ciclo do pimentão. AR = Área de referência.

4.3. Índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio da planta aos 60 DAT

A relação entre o teor de N na folha índice de pimentão, aos 60 DAT e doses de N está apresentada na Figura 13. Com a dose de N ($5,51 \text{ g planta}^{-1}$) que propiciou a produção comercial máxima de frutos, o teor de N na matéria seca da folha índice foi $53,3 \text{ g kg}^{-1}$.

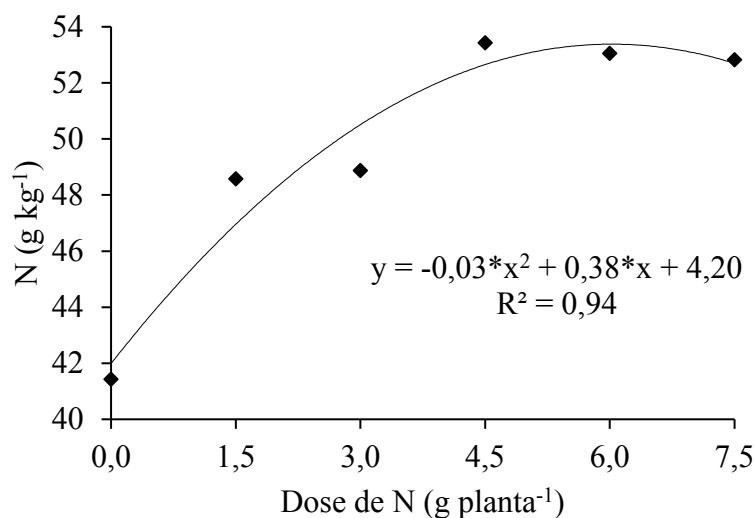


Figura 13. Teores de nitrogênio (N) na folha índice de pimentão aos 60 dias após o transplante em função de doses de nitrogênio (N).

As estimativas dos coeficientes de correlação linear entre os índices SPAD, NBI, CHL e FLV e o teor de N determinado na matéria-seca da folha índice aos 60 DAT estão na Figura 14. Verificou-se correlação positiva entre os índices CHL e NBI e teor de N na matéria seca da folha índice aos 60 DAT.

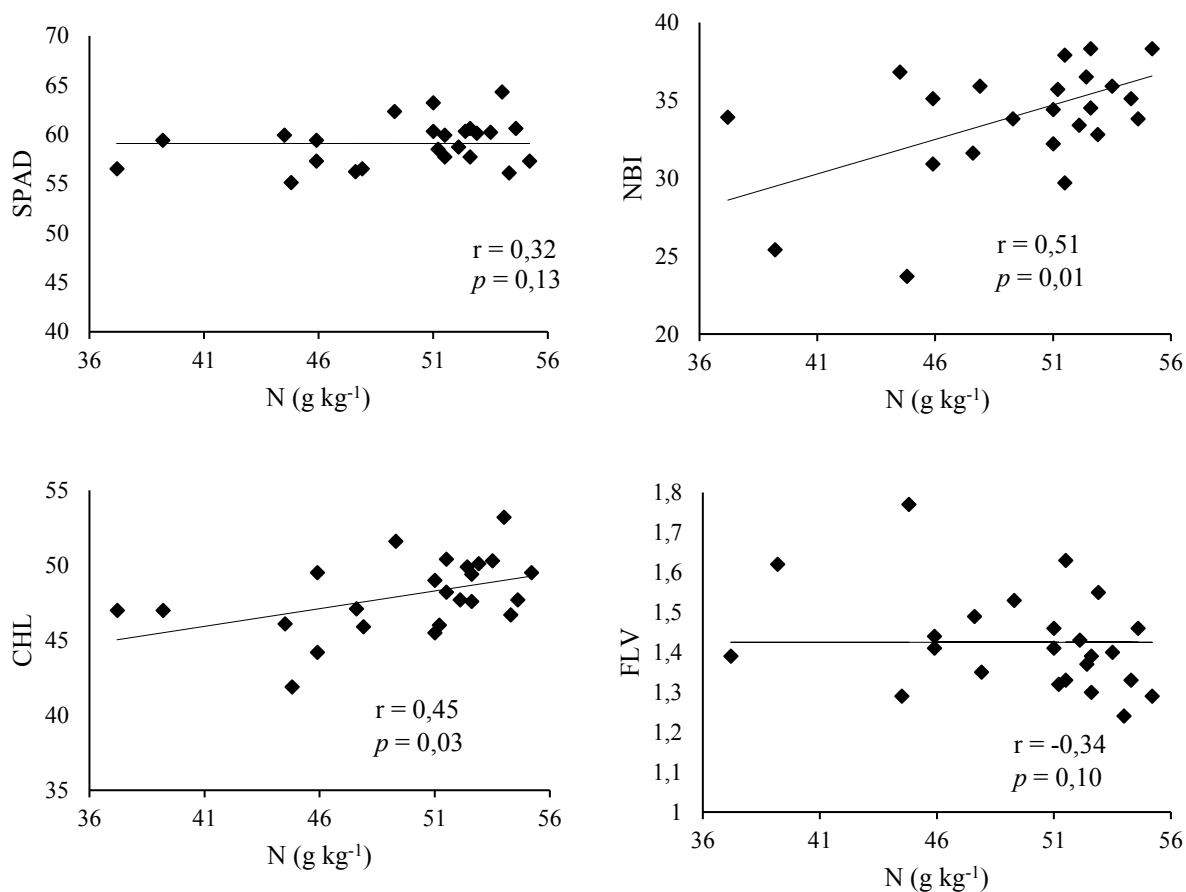


Figura 14. Correlação linear simples entre os índices SPAD, NBI, CHL e FLV e teor de N na folha índice de pimentão aos 60 DAT.

4.4. Índices para o prognóstico da produção de frutos de pimentão

As estimativas dos coeficientes de correlação linear entre os índices SPAD, NBI, CHL e FLV, determinados ao longo do desenvolvimento da cultura de pimentão e a produtividade comercial estão na Figura 15. A significância ($p < 0,05$) dos coeficientes de correlação linear obtidos para o prognóstico da produção de frutos de pimentão está na Tabela 9.

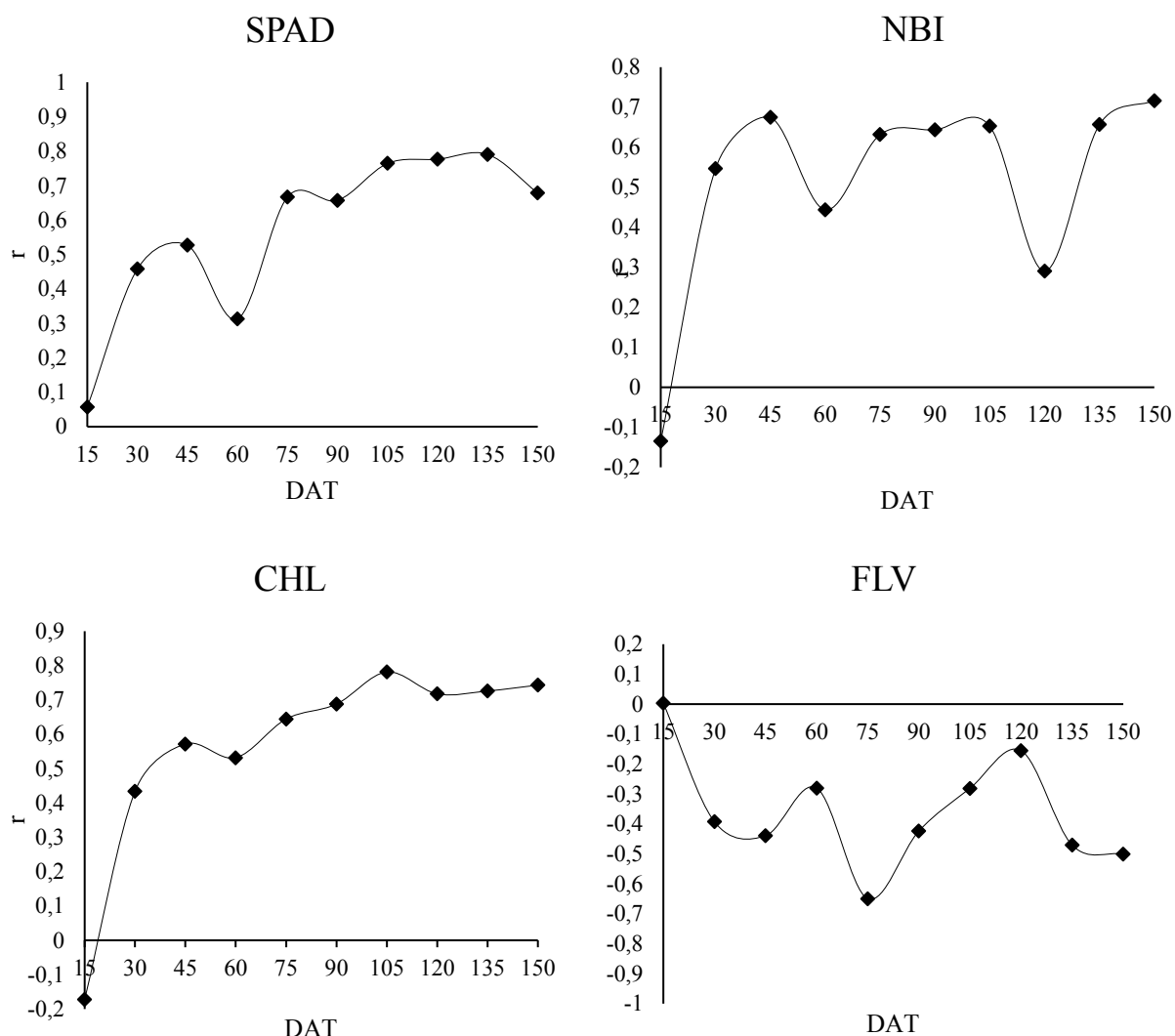


Figura 15. Coeficientes de correlação linear entre os índices avaliados e a produtividade comercial ao longo do ciclo do pimentão.

Tabela 9. Significância ($p < 0,05$) dos coeficientes de correlação linear entre os índices SPAD, NBI, CHL e FLV com a produtividade comercial de frutos de pimentão.

Índices	Dias após o transplante									
	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150
SPAD	0,792	0,025	0,008	0,137	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NBI	0,531	0,006	0,000	0,030	0,001	0,001	0,169	0,169	0,000	0,000
CHL	0,421	0,034	0,004	0,007	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
FLV	0,989	0,058	0,032	0,185	0,001	0,039	0,469	0,469	0,020	0,013

4.5. Massa seca da planta aos 160 DAT

A relação entre as massas secas de folha, caule e raiz de pimentão aos 160 DAT e doses de N estão apresentados na Figura 16. Os valores máximos de massa seca de folha e caule acumulados pelo pimentão durante o ciclo foram 30,94 e 88,97 g planta⁻¹, respectivamente e foram obtidos com as doses de 6,60 e 6,64 g planta⁻¹ de N. Já a massa seca de raiz foi positiva e linearmente influenciada por dose de N.

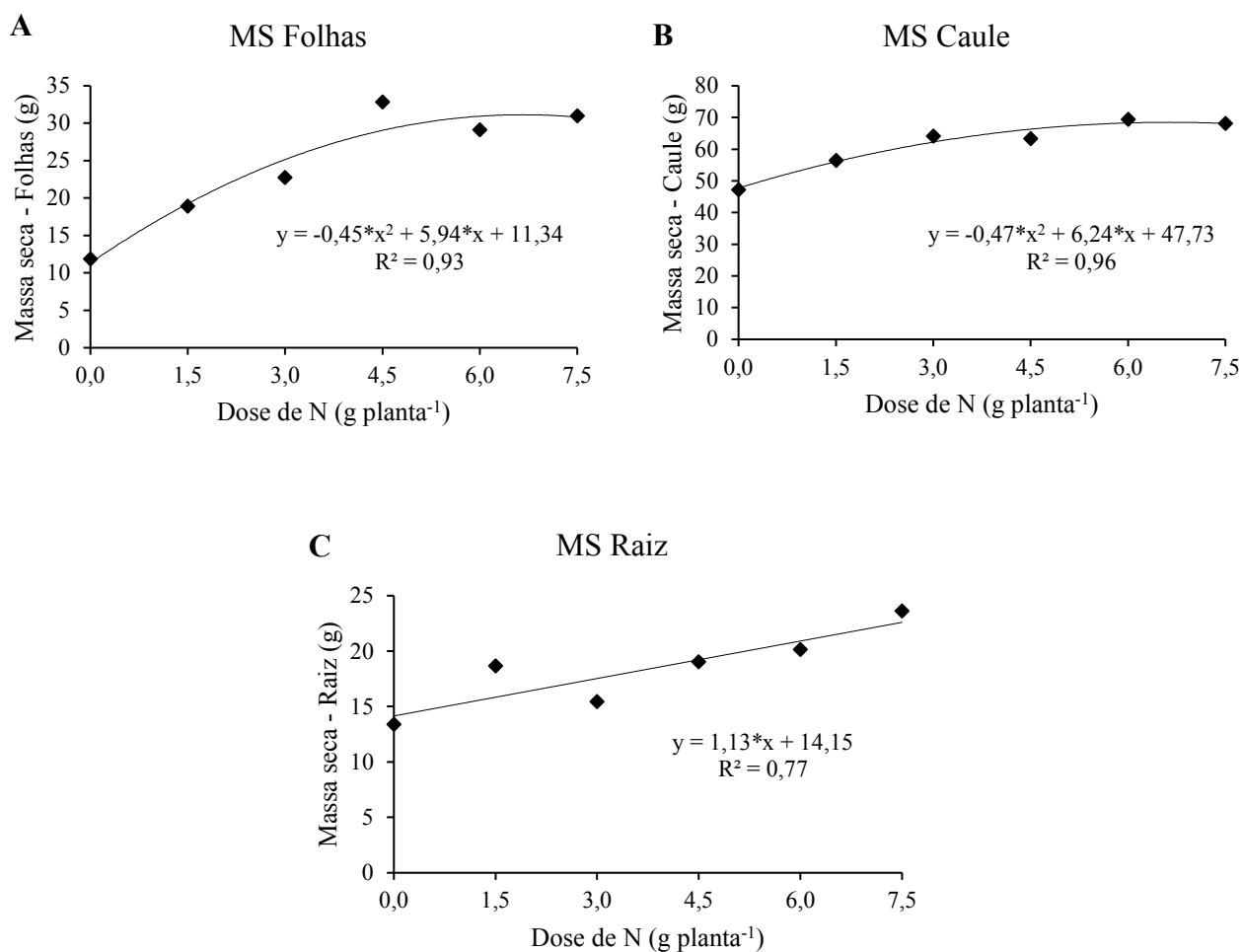


Figura 16. Relação entre massas secas de folha (A), caule (B) e raiz (C) de pimentão, aos 160 dias após o transplantio, e doses de nitrogênio (N).

4.6. Produtividade e classificação de frutos

A relação entre as produtividades total e comercial de frutos de pimentão e doses de N está apresentada na Figura 17. A produtividade máxima total de frutos foi alcançada com a adição de 5,58 g planta⁻¹ de N, atingindo 1.713 g planta⁻¹ de frutos. A produtividade máxima de frutos comerciais foi maximizada com a adição de 5,51 g planta⁻¹ de N e alcançou 1.568 g planta⁻¹. O número de frutos comerciais classificados quanto à classe e sub-classe bem como o número de frutos com presença de defeitos graves e leves estão listados na Tabela 11.

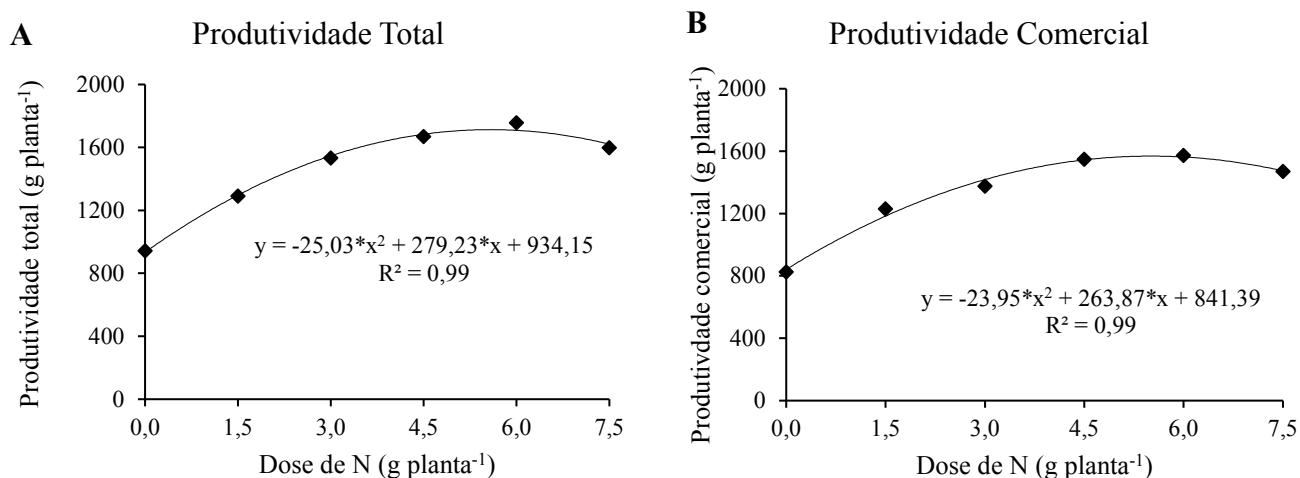


Figura 17. Produtividade total (A) e comercial (B) de frutos de pimentão em função de doses de nitrogênio (N).

Tabela 10. Classificação de frutos de pimentão em classe, sub-classe, defeituosos e número total de frutos em relação a doses de nitrogênio (N).

Doses de N	Classe						Sub-classe			DG	DL	Total de Frutos
	4	6	8	10	12	15	4	6	8			
0	0	5	35	75	50	2	134	32	1	8	30	205
1,5	2	11	41	92	88	4	175	61	2	7	24	269
3	1	7	39	103	81	5	169	67	0	14	25	275
4,5	0	19	63	115	85	2	207	75	2	18	19	321
6	1	18	66	114	73	8	200	78	2	20	30	330
7,5	0	13	79	107	66	5	200	70	0	18	25	313

DG = Defeitos graves; DL = Defeitos leves

4.7. Análise residual de nitrato e amônio no substrato

A relação entre os teores de $N-NO_3^-$ e $N-NH_4^+$ residuais no substrato após a colheita final de frutos e doses de N aplicadas durante o ciclo de cultivo do pimentão está representada na Figura 18. A concentração de $N-NO_3^-$ aumentou cerca de 5 vezes da menor para a maior dose enquanto houve ligeiro decréscimo nos teores de $N-NH_4^+$.

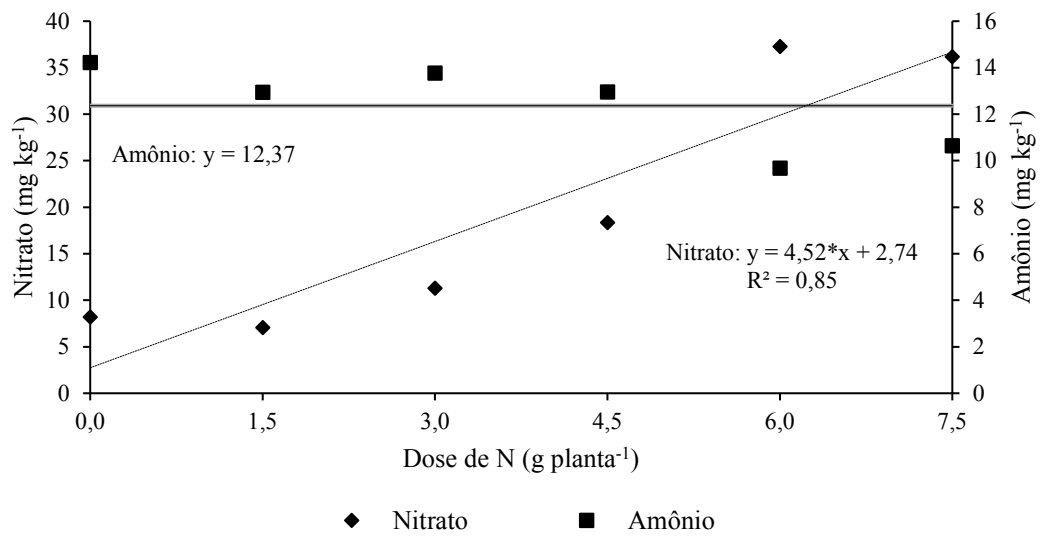


Figura 18. Teores residuais de nitrato e amônio no substrato após o ciclo de cultivo do pimentão em SLAB.

5. DISCUSSÃO

5.8. Índices nitrogenados

A fertirrigação com doses crescentes de N influenciou o comportamento dos índices SPAD, NBI, CHL e FLV ao longo do ciclo do pimentão. De acordo com as equações ajustadas para o índice SPAD em função de doses de N (Tabela 4), verificou-se que a adubação nitrogenada não influenciou de forma significativa ($p < 0,05$) nos valores do índice SPAD até os 30 DAT. Todavia, houve um incremento nos valores desse índice quando as plantas atingiram os 30 DAT. A partir dos 45 DAT, com exceção dos 60 DAT, até os 105 DAT, a fertilização com N propiciou incrementos lineares do índice SPAD dentro de cada época avaliada (Figura 8). Nos primeiros 60 dias de cultivo, o pimentão apresentou, na folha índice, valores na faixa de 60 unidades SPAD entre todos tratamentos. Isso pode ser explicado pela mineralização do N presente no esterco e no solo que compuseram o substrato. O processo de mineralização, transforma o N para as formas inorgânicas, ou seja, mais disponível para as plantas. Godoy et al. (2003) relataram que esterco e solo adicionado no plantio do pimentão em caixas contendo 50 dm³ de substrato foi suficiente para atender as exigências de N da cultura até os 63 DAT.

A partir dos 65 DAT, observou-se decréscimo acentuado do índice SPAD nas menores doses de N que evidenciam a maior demanda por N pelo pimentão na fase reprodutiva (GRAIFENBERG et al., 1985). A partir dos 120 DAT, a relação entre o índice SPAD e doses de N foi representada pelo modelo quadrático em que ocorreu a otimização do índice com o aumento das doses de N. Nas maiores doses pode haver estabilização dos valores do índice SPAD visto que o equipamento não detecta o consumo de luxo (BLACKMER & SCHEPERS, 1994), ou seja, mesmo com incrementos na dose de N, as plantas não investem na formação de clorofila. Isso ocorre devido às plantas atingirem o ponto de maturidade fotossintética (COSTA et al., 2001) e passam a acumular o N na forma de nitrato (LARCHER, 2000), que por sua vez não se traduz em maior grau de enverdecimento da folha e, portanto, não é medido pelo SPAD. Devido ao parcelamento de N em 10 fertirrigações quinzenais, não se observou a saturação das maiores doses até os 120 DAT.

O índice CHL comportou-se de forma similar ao índice SPAD, ou seja, manteve-se constante no início do ciclo (15 DAT) e posteriormente, respondeu de forma linear ao N até os 105 DAT e de forma quadrática até os 150 DAT (Tabela 5, Figura 9). Isso ocorreu devido aos equipamentos estimarem, ainda que de forma diferente e indireta, o teor de clorofila na folha (PARRY et al., 2014; PADILLA et al., 2018; PÉREZ-PATRICIO et al., 2018) e de haver

relação positiva entre o SPAD e o índice CHL (PADILLA et al., 2018). Na ausência de aplicação de N, os valores de CHL foram relativamente altos no início do ciclo, talvez devido à concentração do N nas folhas oriundo da mineralização do solo e do esterco presentes no substrato. No decorrer do tempo, ocorreu um decréscimo nos valores de CHL e mantém-se abaixo dos valores do SPAD até o fim do ciclo. Vários autores não verificaram a ocorrência de saturação do índice CHL como ocorrido a partir dos 120 DAT, reportando apenas relações lineares entre esse índice e a concentração de clorofila nas folhas (REMORINI et al., 2011; TREMBLAY et al., 2012; LI et al., 2013). Todavia, de acordo com Padilla et al. (2018) estes estudos consideram uma faixa estreita de concentração de clorofila na folha não ocorrendo a saturação.

O índice FLV determinado com o Dualex estima o teor de flavonoides presentes na folha no momento da medição. Os flavonoides desempenham diversas funções nas plantas como defesa química contra herbívoros e proteção contra a radiação ultravioleta, patógenos e radicais livres (CARTELAT et al., 2005). A deficiência de N pode ser estimada pelas equações mostradas na Tabela 6. O índice FLV manteve-se constante até os 60 DAT (Figura 10) indicando que as plantas não estavam estressadas no início do ciclo. Isso pode evidenciar a participação do N mineralizável do solo e do substrato e da demanda reduzida por N no período vegetativo da cultura (GODOY et al., 2003; GRAINFENBERG et al., 1985) na atenuação do estresse nitrogenado.

No período reprodutivo, o pimentão passa a exigir o N em altas quantidades (MILLER et al., 1979) o que justifica o aumento do estresse e conseqüentemente aumento do índice FLV nas doses baixas de N e que reduz linearmente com a saturação do mesmo. O aumento da concentração de flavonoides em folhas sob condições limitantes de recursos, como o N, pode ser explicado pela redução do crescimento vegetativo ser maior que a restrição da fotossíntese (GERSHENZON, 1983; HERMS e MATTSON, 1992). Esses mesmos autores concluíram que isso leva ao maior acúmulo de carboidratos que por sua vez serão alocados na rota de formação de polifenóis. Não foram observados sinais de estresse nas doses mais elevadas de N, indicando que nessas condições não houve aumento na síntese de flavonoides.

O NBI comportou-se de forma similar ao CHL, mas houve redução dos valores em condições de déficit de N (Figura 11). O índice de balanço nitrogenado (NBI) é uma das vantagens do medidor DUALEX sobre outros clorofilômetros (CARTELAT et al., 2005). A partir desse índice, o usuário pode verificar a situação atual de N levando em consideração a relação entre o índice CHL e FLV (Tabela 7) de forma automática.

5.9. Avaliação de níveis críticos

Os valores de NC podem ser utilizados como referência para a decisão de adubar ou não a cultura. Leituras abaixo do NC indicam a necessidade de aplicar N, visto que os clorofilômetros podem detectar indiretamente a situação atual de N das plantas (FONTES, 2016). Nesse trabalho, verificou-se rápido aumento dos níveis críticos dos índices SPAD e CHL até os 45 DAT e posteriormente houve ligeira queda mantendo-se estável até o fim do ciclo da cultura (Tabela 8). O NC do índice FLV aumentou até meados do ciclo e posteriormente decresceu com o avanço da idade das plantas. Níveis altos de FLV podem representar situações de estresse das plantas o que pode ter sido influenciado pelas altas temperaturas ocorridas durante o período reprodutivo do pimentão (Tabela 1). O NC para o NBI seguiu a mesma tendência observada para o SPAD e CHL, embora com uma queda mais acentuada visto o aumento do índice FLV em meados do ciclo. Guimarães et al. (1999) também observaram tendência similar do NC do índice SPAD avaliado ao longo do ciclo do tomateiro e estabeleceram valores críticos que podem ser utilizados como referência para o cultivo fertirrigado de tomate em ambiente protegido.

Alguns autores têm utilizado o índice crítico relativo (ICR) para a tomada de decisão de aplicar N em cobertura (FONTES et al., 2016). A metodologia estabelece que quando a relação entre as leituras realizadas nas parcelas com plantas-problema e parcelas com plantas bem nutridas for menor que um valor crítico pré-estabelecido, é diagnosticado como deficiente em N. Nesse experimento o ICR mostrou que as plantas se mantiveram acima da faixa crítica, independentemente dos tratamentos, até os 60 DAT a partir do qual houve decréscimo proeminente, especialmente nas menores doses de N (0 e 1,5 g planta⁻¹) (Figura 12). Isso ajuda na confirmação da hipótese de que o N advindo da mineralização do esterco e do solo foi capaz de sustentar as plantas sem que apresentassem deficiência de N até os 60 DAT. Godoy et al. (2003) também propuseram a utilização do IRC como indicador do momento de aplicação do adubo nitrogenado.

5.10. Índices para o diagnóstico do estado de nitrogênio da planta

O teor de N na folha aumentou com a adição de N e através do ajuste do modelo quadrático verificou-se que foi atingido uma dose ótima a partir do qual a planta reduziu a absorção de N (Figura 13). Essa tendência pode ser explicada pela afinidade dos transportadores

de N. Em condições de baixa disponibilidade de N, o mecanismo de alta afinidade predomina na absorção radicular, já em altas concentrações, os transportadores de baixa afinidade passam a atuar. Ambos contra um gradiente eletroquímico. Além disso, o N em altas concentrações é acumulado no vacúolo para ser utilizado posteriormente no metabolismo das plantas (MARSCHNER, 2012). A partir da dose de 6,0 g planta⁻¹, ocorreu a saturação de N e por isso houve a tendência de estabilização ou queda do teor de N foliar aos 60 DAT (Figura 13).

Os índices SPAD e FLV não correlacionaram significativamente ($p > 0,05$) com o teor de N na folha aos 60 DAT (Figura 14). O teor de N relativamente elevado na folha índice na ausência de N ou em doses baixas aplicadas via fertirrigação e a limitação do SPAD em detectar condições excessivas de N podem explicar a ausência de correlação entre esse índice e o teor de N na folha aos 60 DAT. Mesmo na dose 0 verificou-se uma concentração acima de 40 g kg⁻¹, o que é considerado dentro da faixa de suficiência para a cultura (MAYNARD e HOCHMUTH, 2007). Vários autores relatam a ocorrência de saturação em níveis de alta concentração de clorofila pelo SPAD (MONJE e BUGBEE, 1992; MARKWELL et al., 1995; CARTELAT et al., 2005; UDDLING et al., 2007). Portanto, associando-se o teor adequado de N na folha de pimentão avaliadas nas plantas nas menores doses de N e a ocorrência de saturação pelo SPAD quando em condições altas de clorofila na folha podem explicar a ausência de correlação observada aos 60 DAT. Similarmente, não foram observados a ocorrência de estresse nitrogenado visto o adequado teor de N na folha aos 60 DAT.

Os índices CHL e NBI correlacionaram-se positiva e significativamente com o teor de N na folha índice do pimentão aos 60 DAT (Figura 14). Esses índices foram sensíveis à variação de N em condições supra ótimas e podem ser uma alternativa para o diagnóstico de N em condições elevadas. Longchamps e Khosla (2014) indicam que as técnicas de fluorescência, como a utilizada pelo Dualex, são mais eficientes que as de refletância, utilizada pelo SPAD, na avaliação precoce do estado de N na cultura do milho. Portanto, os índices CHL e NBI fornecidos pelo Dualex podem ser empregados na determinação da situação de N mesmo em condições mais elevadas.

5.11. Índices para o prognóstico da produtividade de pimentão

Os índices obtidos com as medidas do clorofilômetro têm sido muito utilizados para prognosticar a produtividade de várias culturas como o tomate (GUIMARÃES et al., 2007), batata (MILAGRES et al., 2018), trigo (ISLAM et al., 2014) e mandioca (ANAND; BYJU,

2008). De acordo com Coelho et al. (2010), a possibilidade de prever a produtividade de uma cultura baseia-se na relação existente entre o índice SPAD avaliado em datas anteriores à colheita e sua respectiva produtividade futura. No presente trabalho, houve correlação significativa entre os índices SPAD e CHL com a produtividade comercial total de frutos (Figura 15, Tabela 9). Ambos se mostraram significativamente eficazes em prever a produtividade desde os 30 DAT até o final do ciclo, com exceção do SPAD medido aos 60 DAT que foi não-significativa ($p > 0,05$) (Tabela 9). Os índices NBI e FLV correlacionaram significativamente com a produtividade em diversas datas avaliadas, embora não houve uma tendência observada nesses índices (Figura 15).

5.12. Massa seca da planta aos 160 DAT

As massas secas de folhas, caules e raízes remanescentes após a última colheita de frutos (150 DAT) aumentaram com a aplicação de doses crescentes de N. O aumento das massas secas de folhas e caules foram representados por modelo quadrático atingindo valores máximos de 30,94 g e 88,97 g planta⁻¹, respectivamente (Figura 16 A e B). A dose ótima de N para maximização das massas secas de folhas e caules foram 6,60 g planta⁻¹ e 6,64 g planta⁻¹, respectivamente. O acúmulo de massa seca de raízes foi representado pelo modelo linear com coeficiente positivo e significativo, indicando que o aumento das doses de N não foi prejudicial ao desenvolvimento das raízes (Figura 16 C).

No cultivo em recipiente pode haver restrição no crescimento das raízes e da produtividade de frutos devido ao limitado volume do substrato, como observado em tomate (BOUZO e FAVARO, 2015). Fisiologicamente, o crescimento radicular desfavorável resulta nos decréscimos da capacidade fotossintética, da absorção de oxigênio e de nutrientes da rizosfera além, de alteração na composição de citocinina, giberelina e ácido abscísico. As desvantagens do cultivo em recipiente podem ser minimizadas na cultura do pimentão com a incorporação de matéria orgânica ao substrato (LLAVEN e al., 2008) e de quantidades adequadas de nutrientes para as plantas. Desse modo, as plantas recebiam aproximadamente o necessário para o desenvolvimento em cada fase.

O adequado suprimento de N permite adequada relação raiz/parte aérea que se traduz em maiores produtividades (MARSCHNER, 2012). Em situações onde há limitação de recursos, as plantas tendem a aumentar essa relação, investindo no desenvolvimento radicular para que possa explorar maiores áreas em busca de nutrientes. Na dose 0, como o substrato

possuía uma parcela de esterco e solo, uma parte do N pode ter sido fornecido por essas fontes e assim reduziu a necessidade de se investir na expansão radicular. Todavia, as quantidades não foram suficientes visto que houve redução geral na biomassa da planta na ausência de adubação nitrogenada bem como nas menores doses.

Como o N encontra-se em vários componentes celulares sendo facilmente redistribuído na planta via floema, o sintoma mais característico da deficiência é a redução na taxa de crescimento da planta e clorose, inicialmente nas folhas velhas, causada pelo decréscimo no teor de clorofila. A disponibilidade de N também pode afetar a partição de assimilados entre os diferentes órgãos da planta. Em *Capsicum*, onde a formação de tecidos reprodutivos ocorre de forma interativa em novas bifurcações simpodiais com coordenação entre os crescimentos vegetativo e reprodutivo, a quantidade de N disponível às raízes influenciou o suprimento de sacarose para diferentes órgãos da planta e afetou diferentemente as características agronômicas e a produção de frutos (SILVA et al., 2019).

5.13. Produtividade total, comercial e classificação de frutos

A produtividade do pimentão aumentou em resposta à adubação nitrogenada sendo representada por um modelo quadrático. A máxima produção total, $1713 \text{ g planta}^{-1}$, foi atingida com a adição de $5,58 \text{ g planta}^{-1}$ de N (Figura 17 A). A máxima produção de frutos da classe comercial foi $1568 \text{ g planta}^{-1}$ e foi alcançada com a adição de $5,51 \text{ g planta}^{-1}$ de N (Figura 17 B). Esses valores correspondem à produção comercial de $101,2 \text{ t ha}^{-1}$ e $355,5 \text{ kg ha}^{-1}$ de N. A adubação nitrogenada afetou positivamente a produtividade do pimentão visto que o N, entre outras funções, está diretamente ligado à produção de proteínas e compostos energéticos indispensáveis na formação de estruturas reprodutivas (RUSSO, 2018). Vários autores tem mostrado que a adubação nitrogenada tem forte impacto sobre o crescimento vegetativo, florescimento, número e produtividade de frutos de pimentão, tanto em cultivo no campo (KHAN et al., 2010; AMINIFARD et al., 2018; MOLLA et al., 2019) quanto em ambiente protegido no solo (SILVA et al., 1999; CAMPOS et al., 2008; ARAÚJO et al., 2009; XIANG et al., 2018; RATURI et al., 2019) ou em recipientes contendo substrato (MARCUSSEI et al., 2004; AL-KARAKI et al., 2009; ARAGÃO et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2013; NUNES JÚNIOR et al., 2017; LORENZONI et al., 2016; WAHOCHO et al., 2016). Em vaso contendo 25 L de solo, a melhor massa de frutos de pimentão foi alcançada com 150 kg ha^{-1} de N (LORENZONI et al., 2016). Ainda em vaso, com 15 kg de solo, a maior dose de N estudada,

250 kg ha⁻¹ de N, propiciou os maiores valores das características de crescimento e produtividade do pimentão, como altura de planta, número de hastes, comprimento de fruto, número e massa de frutos por planta (WAHOCHO et al., 2016).

Devido aos diversos fatores ambientais e experimentais, os quais propiciam marcadas diferenças de produtividade de frutos de pimentão, de 5 a 66 t ha⁻¹ de frutos, o valor encontrado para a dose adequada de N tem variado de 0 (SILVA et al., 1999; 2001) a 400 kg ha⁻¹ (ARAÚJO et al., 2009); mais intensamente entre 100 a 300 kg ha⁻¹ (HOCHMUTH et al., 1988; HARTZ et al., 1993; FONTES et al., 2005; CAMPOS et al., 2008; CANDIDO et al., 2009; AMINIFARD et al., 2012; TANASKOVIK et al., 2016; XIANG et al., 2018; MOLLA et al., 2019).

A adubação nitrogenada afetou a classificação de frutos sendo observado os menores valores nas doses mais baixas de N. A aplicação da maior dose (7,5 g planta⁻¹) também afetou negativamente o número de frutos (Tabela 10). A adição de N em doses acima do ótimo ocasiona desbalanço nutricional das plantas que redirecionam fotoassimilados para o crescimento vegetativo como caule e folhas em detrimento de estruturas reprodutivas como as flores. Isso pode levar a quedas na produção final de frutos. Riga (2014), estudando o efeito de diferentes doses de N sobre plantas de pimentão, observou que o número de flores também foi significativamente menor na menor dose de N. Normalmente, plantas cultivadas sob deficiência de N apresentam níveis baixos de compostos nitrogenados e alterações no metabolismo do carbono com redução na produtividade. Nas diversas espécies, o metabolismo do N e do carbono são interligados e mutuamente regulados (GENT e FORDE, 2017), principalmente pelas condições ambientais.

5.14. Teores residuais de nitrato e amônio no substrato

O teor de NO₃⁻ residual no substrato aumentou significativamente com o aumento da dose de N aplicada via fertirrigação. O teor de NH₄⁺ manteve-se constante, não observando efeito significativo dos tratamentos (Figura 18). A ocorrência de maiores níveis de NO₃⁻ em relação ao amônio era esperada devido a principal fonte aplicada ser o nitrato de cálcio. Durante o experimento foram aplicadas 10 fertirrigações quinzenais, sendo as 2 primeiras utilizando o sulfato de amônio e as demais utilizando o nitrato de cálcio. Hipotetiza-se que as quantidades de NH₄⁺ foram exauridas com a absorção durante o ciclo da cultura. Entretanto, a quantidade residual de NH₄⁺ pode ter sido fornecida pela constante mineralização do N orgânico presente no esterco e no solo, que representaram 75 % do substrato. O nitrato residual no solo é um

potencial causador de impacto ambiental, visto a sua rápida mobilidade e por isso passível de sofrer lixiviação (HOCHMUT, 1992).

O cultivo do pimentão e de outras hortaliças são caracterizados pela excessiva utilização de fertilizantes e por isso aumenta-se o risco de contaminação ambiental. Nesse sentido, o cultivo de pimentão em SLABS pode ser vantajoso visto que esse nutriente ficou retido no substrato evitando que o mesmo fosse lixiviado. Caso viável, o reaproveitamento do substrato poderá propiciar a redução na quantidade de N a ser adicionada na próxima cultura.

6. CONCLUSÕES

Dose de N influenciaram positivamente os índices SPAD, CHL e NBI e negativamente o índice FLV ao longo do ciclo;

O valor crítico de N na matéria seca da folha índice aos 60 DAT foi $53,3 \text{ g kg}^{-1}$ e os valores críticos dos índices SPAD, NBI, CHL e FLV foram 59,09; 35,38; 48,88 e 1,43, respectivamente.

Verificou-se relação entre doses de N e biomassa seca de folha e caule, produtividade total e produtividade comercial de pimentão, possível de ser descrita por modelo quadrático;

Com a aplicação de $5,51 \text{ g planta}^{-1}$ de N, correspondente à $355,5 \text{ kg ha}^{-1}$, obteve-se a produtividade máxima de frutos comerciais de $1,57 \text{ kg planta}^{-1}$ ou $101,2 \text{ t ha}^{-1}$;

Aumento da dose de N levou ao aumento do teor residual de nitrato no substrato.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL: Anuário da Agricultura Brasileira. 24 ed. São Paulo: FNP Consultoria & Agroinformativos, 497 p. 2019.

AL-KARAKI, G.; AL-AJMI, A.; OTHMAN, Y. Response of soilless grown sweet pepper cultivars to salinity. **Acta Horticulturae**, v. 807, p. 227- 231, 2009.

AMINIFARD, M. H.; AROIEE, H. N.; AZIZI, M.; KHAYYAT, M. Effect of nitrogen fertilizer on vegetative and reproductive growth of pepper plant under field condition. **Journal of Plant Nutrition**, v. 35, n.2, p. 235 – 242, 2012.

AMINIFARD, M. H.; BAYAT, H. Influence of different rates of nitrogen fertilizer on growth, yield and fruit quality of sweet pepper (*Capsicum annum* L. var. California Wander). **Journal of Horticulture and Postharvest Research**, v. 1, p. 105-114, 2018.

ANAND, M. H.; BYJU, G. Chlorophyll meter and leaf colour chart to estimate chlorophyll content, leaf colour, and yield of cassava. **Photosynthetica**, v. 46, n. 4, p. 511-516, 2008.

ARAGÃO, V. F.; FERNANDES, P. D.; GOMES FILHO, R. R.; CARVALHO, C. M.; OLIVEIRA FEITOSA, H.; OLIVEIRA FEITOSA, E. Produção e eficiência no uso de água do pimentão submetido a diferentes lâminas de irrigação e níveis de nitrogênio. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 6, n. 3, 2012.

ARAM, K.; RANGARAJAN, A. Compost for nitrogen fertility management of Bell pepper in a Drip-irrigated Plasticulture System. **HortScience**, v. 40, n. 3, p. 577, 2005.

ARAÚJO, J. S.; ANDRADE, A. P.; RAMALHO, C. I.; AZEVEDO, C. A. V. Características de frutos de pimentão cultivado em ambiente protegido sob doses de nitrogênio via fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 152-157, 2009.

AYODELE, O. J.; ALABI, E. O.; ALUKO, M. Nitrogen fertilizer effects on growth, yield and chemical composition of hot pepper. **International Journal of Agriculture and Crop Sciences**, v. 8, n. 5, p. 666, 2015.

BLACKMER, T.M.; SCHEPERS, J.S. Techniques for monitoring crop nitrogen status in corn. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 25, p.1791-1800, 1994.

BOUZO, C.A.; FAVARO, J. C. Container size effect on the plant production and precocity in tomato (*Solanum lycopersicum* L). **Bulgarian Journal of Agricultural Science**, vol. 21, n. 2, p. 325 – 332, 2015.

BREMNER, J. M. **Total nitrogen**. In: Black, C. A. (Ed.) Methods of soil analysis. Madison, American Society of Agronomy. p.1149-1178, 1965.

CAMPOS, V. C.; OLIVEIRA, A. P.; CAVALCANTE, L. F.; PRAZERES, S. S. Rendimento do pimentão submetido ao nitrogênio aplicado via água de irrigação em ambiente protegido. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n. 2, p. 72-79, 2008.

CANDIDO, V.; MICCOLIS, V.; RIVELLI, A. R. Yield traits and water and nitrogen use efficiencies of bell pepper grown in plastic greenhouse. **Italian Journal of Agronomy**, vol. 4, n. 3, p. 91– 100, 2009.

CARTELAT, A.; CEROVIC, Z. G.; GOULAS, Y.; MEYER, S.; LELARGE, C.; PRIOUL, J. L.; BARBOTTIN, A.; JEUFFROY, M. H.; GATE, P.; AGATI, G.; MOYA, I.. Optically assessed contents of leaf polyphenolics and chlorophyll as indicators of nitrogen deficiency in wheat (*Triticum aestivum* L.). **Field Crops Research**, v. 91, p. 35–49, 2005.

CARUSO, G.; STOLERU, V. V.; MUNTEANU, N. C.; SELBITTO, V. M.; TELIBAN, G. C.; BURDUCEA, M.; BUTNARIU, M. Quality performances of sweet pepper under farming management. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 47, p. 458-464, 2019.

CARVALHO, K. S.; KOETZ, M.; SILVA, T. J. A. CABRAL, C. E. A.; NUNES, J. A. S. Adubação nitrogenada na cultura do pimentão em ambiente protegido. **Enciclopédia Biosfera**, v. 9, n.17, p. 58, 2013.

CEAGESP. Classificação de pimentão. São Paulo, 2015. Cartilha.

CECON NOVO, A. A. **Avaliação do sistema FITO 2 na produção de tomate longa vida em estufa**. 2002. 70 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

COELHO, F. S.; FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M.; NEVES, J. C. L.; SILVA, M. C. C. Dose de nitrogênio associada à produtividade de batata e índices do estado de nitrogênio na folha. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 1175-1183, 2010.

COSTA, C.; DWYER, L. M.; DUTILLEUL, P.; STEWART, D. W.; MA, B. L.; SMITH, D. L. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. **Journal of Plant Nutrition**, v. 24, p. 1173-1194, 2001.

COSTA, F. S.; LIMA, A. S.; MAGALHÃES, I. D.; CHAVES L. H. G.; GUERRA, C. Fruit production and SPAD index of pepper (*Capsicum annum* L.) under nitrogen fertilizer doses. **Australian Journal of Crop Science**, v. 12, p. 11-15, 2018.

CRESPO-RUIZ, M.; GOYAL, M. R.; BÁEZ, C. C.; RIVERA, L. E. Nutrient uptake and growth characteristics of nitrogen fertigated sweet peppers under drip irrigation and plastic mulch. **Journal of Agriculture University of Puerto Rico**, v. 4, p.575-584, 1988.

DIAS, N. S.; DUARTE, S. N.; GHEYI, H. R.; MEDEIROS, J. F.; SOARES, T. M. Manejo da fertirrigação e controle da salinidade do solo sob ambiente protegido, utilizando-se extratores de solução do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 4, p. 496-504, 2005.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. 2.ed. Londrina: Editora Planta, 2006. 392p.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. **Advances in Agronomy**, v. 88, p.97–185, 2005.

FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. 2016. Disponível em: < <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>>. Acesso em: 10 junho de 2019.

FELISBERTO, P. A. C.; GODOY, L. J. G.; FELISBERTO, G. Índices de cor da folha para monitoramento nutricional de nitrogênio em plantas de pimentão. **Científica**, v. 44, p. 207, 2016.

FELTRAN, J. C.; LEMOS, L. B. Características agronômicas e distúrbios fisiológicos em cultivares de batata. **Científica**, v. 33, n. 1, p. 106–113, 2005.

FONTES, P. C. R. **Diagnóstico do estado nutricional das plantas**. Viçosa: UFV, 2001. 122p.

FONTES, P. C. R. **Nutrição mineral de plantas: anamnese e diagnóstico**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2016.

FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; GRAÇA, R. N. Acúmulo de nutrientes e método para estimar doses de nitrogênio e de potássio na fertirrigação do pimentão. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 275- 280, 2005.

FONTES, P. C. R.; DIAS, E. N.; SILVA, D. J. H. Growth dynamic, dry matter distribution and sweet pepper yield in unheated greenhouse. **Horticultura Brasileira**, v. 23, p. 94-99, 2005.

FONTES, P. C. R.; RONCHI, C. P. Critical values of nitrogen indices in tomato plants grown in soil and nutrient solution determined by different statistical procedures. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 10, p. 1421–1429, 2002.

FORCE-A. Dualex 4 Flavonols & Chlorophyll-meter. FORCE-A, Orsay, France, 2011. Instruction Manual

FORTIER, E.; DESJARDINS, Y.; TREMBLAY, N.; BÉLEC, C.; CÔTÉ, M. Influence of irrigation and nitrogen fertilization on broccoli polyphenolics concentration. **Acta Horticulturae**, v. 856, p. 55-62, 2010.

GENT, L.; FORDE, B. G. How do plants sense their nitrogen status? **Journal of Experimental Botany**, v. 68, p. 2531-2539, 2017.

GERSHENZON, J. Changes in the levels of plant secondary metabolites under water and nutrient stress. In: Timmermann, B. N.; Steelink, C.; Loews, F. A. (eds.). *Phytochemical adaptations to stress. Recent Advances in Phytochemistry*, v. 18, p. 273-320, 1983.

GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L.; BÜLL, L. T. Utilização da medida do clorofilômetro no manejo da adubação nitrogenada em plantas de pimentão. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 1049-1056, 2003.

GONÇALVES, M. A.; VIGNOLO, G. K.; ANTUNES, L. E. C.; REISSER JUNIOR, C. Produção de morangos fora do solo. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2016. 32 p.

GOULAS, Y.; CEROVIC, Z. G.; CARTELAT, A.; MOYA, I. Dualex: a new instrument for field measurements of epidermal ultraviolet absorbance by chlorophyll fluorescence. **Applied Optics**, v. 43, p. 4488-4496, 2004.

GRAINFENBERG, A.; PETSAS, S.; LENZI, I. Crescita e asportazione degli elementi nutritive nel peperone allevato in serra fredda. **Colture Protette**, v. 12, p. 33-38, 1985.

GUIMARÃES, T. G. **Nitrogênio no solo e na planta, teor de clorofila e produção do tomateiro, no campo e na estufa, influenciados por doses de nitrogênio**. 1998. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1998.

GUIMARÃES, T. G.; FONTES, P. C. R.; ALVAREZ V., V. H.; PEREIRA, P. R. G.; MONNERAT, P. H. Correlações entre índices de nitrogênio da planta e produtividade do tomateiro cultivado em estufa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 11, 2007, Gramado. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, 2007.

GUIMARÃES, T. G.; FONTES, P. C. R.; PEREIRA, P. R. G.; ALVAREZ, V. H.; MONNERAT, P. H. Teores de clorofila determinados por medidor portátil e sua relação com formas de nitrogênio em folhas de tomateiro cultivados em dois tipos de solo. **Bragantia**, v. 58, p. 209-216, 1999.

HARTZ, T. K.; LESTRANGE, M.; MAY, D. M. Nitrogen requirements of drip-irrigated peppers. **HortScience**, v. 28, p. 1097-1099, 1993.

HERMS, D. A.; MATTSON, W. J. The dilemma of plants: to grow or defend. **Quarterly Review in Biology**, v. 67, p. 283-335, 1992.

HOCHMUTH, G. J. Fertilizer management for drip-irrigated vegetables in Florida. **HortTechnology**, v. 2, p. 27-32, 1992.

HOCHMUTH, G. J.; SHULER, K. D.; MITCHELL, R. L.; GILREATH, P. R. **Nitrogen crop nutrient requirement demonstrations for mulched pepper in Florida**. In Proceedings of the... annual meeting of the Florida State Horticulture Society (USA), 1988.

HortiBrasil, 2019. Norma de classificação do pimentão para o programa brasileiro para a melhoria dos padrões comerciais e embalagens de hortigranjeiros. Disponível em: <https://www.hortibrasil.org.br/classificacao/pimentao/arquivos/norma.html>. Acesso em 10 março de 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário 2017 (resultados preliminares). Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticasnovoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/21814-2017-censo-agropecuaria.html?edicao=21858&t=resultados>. Acesso em 10 junho 2018.

ISLAM, M. R.; HAQUE, K. S.; AKTER, N.; KARIM, M. A. Leaf chlorophyll dynamics in wheat based on SPAD meter reading and its relationship with grain yield. **Journal of Scientia Agriculture**, v. 8, p. 13-18, 2014.

KHAN, M.; ROY, S.; PALL, K.K. Nitrogen and phosphorus efficiency on the growth and yield attributes of Capsicum. **Academic Journal of Plant Sciences**, vol. 3, no. 2, p. 71-78, 2010.

KRAPP, A. Plant nitrogen assimilation and its regulation: a complex puzzle with missing pieces. **Current Opinion in Plant Biology**, v. 25, p. 155-122, 2015.

LARCHER, W. Ecofisiologia vegetal. São Carlos, RiMa, 2000. 531p.

- LI, J. W.; ZHANG, J. X.; ZHAO, Z.; LEI, X. D.; XU, X. L.; LU, X. X.; WENG, D. L.; GAO, Y.; CAO, L. K. Use of fluorescence-based sensors to determine the nitrogen status of paddy rice. **Journal of Agricultural Science**, v. 151, p. 862–871, 2013.
- LLAVEN, M. A. O.; JIMENEZ, J. L. G.; CORO, B. I. C.; RINCON-ROSALES, R.; MOLINA, J. M.; DENDOOVEN, L.; GUTIERREZ-MICELI, F. A. Fruit characteristics of bell pepper cultivated in sheep manure vermicompost substituted soil. **Journal of Plant Nutrition**, vol 31, p. 1585–1598, 2008.
- LONGCHAMPS, L.; KHOSLA, R. Early detection of nitrogen variability in maize using fluorescence. **Agronomy Journal**, v. 106, n. 2, p. 511-518, 2014.
- LORENZONI, M. Z.; REZENDE, R.; DE SOUZA, A. H. C.; SERON, C. D. C.; HACHMANN, T. L. Response of bell pepper crop fertigated with nitrogen and potassium doses in protected environment. **Agrotechnology**, v. 5, p. 1-5, 2016.
- LOURES, J. L. **Estabelecimento e avaliação do sistema de produção de tomate denominado FITO, em estufa e em campo**. 2001. 109 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 2001.
- LOURES, J. L. **Produção de tomate em saco plástico contendo esterco de suínos no substrato**. 1997. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 1997.
- LV, H.; LIN, S.; WANG, Y.; LIAN, X.; ZHAO, Y.; LI, Y.; BUTTERBACH-BAHL, K. Drip fertigation significantly reduces nitrogen leaching in solar greenhouse vegetable production system. **Environmental Pollution**, v. 245, p. 694-701, 2019.
- MADEIRA, A. C.; FERREIRA, A; VARENNES, A; VIEIRA, M. I. SPAD meter versus tristimulus colorimeter to estimate chlorophyll content and leaf color in sweet pepper. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 34, p. 2461-2470, 2003.
- MADEIRA, A. C.; VARENNES, A. Use of chlorophyll meter to assess the effect of nitrogen on sweet pepper development and growth. **Journal of Plant Nutrition**, v.28, n. 7, p. 1133-1144, 2005.
- MARCUSSI, F. F. N.; GODOY, L. J. G.; VILLAS BÔAS, R. L. Fertirrigação nitrogenada e potássica na cultura do pimentão baseada no acúmulo de N e K pela planta. **Irriga**, v.9, p.41-51, 2004.
- MARKWELL, J.; OSTERMAN, J. C.; MITCHELL, J. L. Calibration of the Minolta SPAD-502 leaf chlorophyll meter. **Photosynthesis Research**, v. 46, p. 467–472, 1995.
- MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. 3ª ed. Orlando, Academic Press. 2012. 651 p.
- MAYNARD, D. N.; HOCHMUTH, G. J. **Knott's Handbook for Vegetable Growers**. 5 ed. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey.2007. 638 p.
- MILAGRES, C. C.; FONTES, P. C. R.; SILVEIRA, M. V.; MOREIRA, M. A.; LOPES, I. P. C. Índices de nitrogênio e modelo para prognosticar a produção de tubérculos de batata. **Revista Ceres**, v. 65, p. 261-270, 2018.

- MILLER, C. H.; COLLUM, R. E.; CLAIMON, S. Relationships between growth of bell peppers (*Capsicum anuum* L.) and nutrient accumulation during ontogeny in field environments. **Journal of American Society of Horticultural Science**, v. 104, p. 582-857, 1979.
- MINOLTA. Chlorophyll meter SPAD-502. Osaka, Japan: Minolta Co., Ltd; 1989. Instruction Manual.
- MOLLA, T.; ABERA, G.; BEYENE, S. Effects of nitrogen fertilizer and mulch application on growth performance and pod yields of hot pepper (*Capsicum annuum* L.) under irrigated condition. **International Journal of Plant & Soil Science**, p. 1-15, 2019.
- MONJE, O. A.; BUGBEE, B. Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: a comparison of two types of meters. **HortScience**, v. 27, p. 69–71, 1992.
- MOURA, K. S. A. **Crescimento e produtividade da couve de folhas em sistema slab com diferentes substratos**. 2018. 79 f. Dissertação (Doutorado em Ciências Biológicas e da Natureza) - Universidade Federal do Acre, Rio Branco. 2018.
- NUNES JÚNIOR, E. S.; MEDEIROS, J. F.; OLIVEIRA, F. A.; LIMA, L. A. Nitrogen and potassium fertigation in bell pepper cultivated in greenhouse using fertigation managements. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, p. 186-190, 2017.
- OLIVEIRA, F. A.; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; OLIVEIRA, M. K. T.; SILVA, R. C. P.; LIMA, K. S. Nutrição mineral do pimentão submetido a diferentes manejos de fertirrigação. **Horticultura Brasileira**, v.33, p. 216-223, 2015.
- OLIVEIRA, F. A.; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, J. F.; DIAS, N. S.; SILVA, R. C. P.; LIMA, C. J. G. S. Manejos da fertirrigação e doses de N e K no cultivo de pimentão em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, p.1152-1159, 2013.
- OLIVEIRA, F. D. A.; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, J. F.; AROUCHA, E. M. M.; DA SILVA DIAS, N. Quality in the pepper under different fertigation managements and levels of nitrogen and potassium. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 46, p. 764-773, 2015.
- OLIVEIRA, J. M. **Produção e qualidade de tomate em substrato contendo diferentes proporções de subsolo e areia-FITO 3**. 2004. 82 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa. 2004.
- OTHMAN, Y.; BATAINEH, K.; AL-AJLOUNI, M.; ALSMAIRAT, N.; AYAD, J.; SHIYAB, S.; ST HILAIRE, R. Soilless culture: management of growing substrate, water, nutrient, salinity, microorganism and product quality. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 28, p. 3249-3260, 2019.
- PADILLA, F. M.; GALLARDO, M.; PEÑA-FLEITAS, M. T.; DE SOUZA, R.; THOMPSON, R. B. Proximal optical sensors for nitrogen management of vegetable crops: a review. **Sensors**, v. 18, pii: E2083, 2018.

PALMIERI, F. G.; RODRIGUES, G. G.; MARCOMINI, L. R. S. Pequenos mercados, grandes oportunidades: Boas opções para diversificar a produção. **Hortifruti Brasil**, p. 8–11, 2017.

PARRY, C.; BLONQUIST, J. M.; BUGBEE, B. In situ measurement of leaf chlorophyll concentration: analysis of the optical/absolute relationship. **Plant, Cell Environment**, v. 37, p. 2508–2520, 2014.

PÉREZ-PATRICIO, M.; CAMAS-ANZUETO, L. J.; SANCHEZ-ALEGRÍA, A.; AGUILAR-GONZÁLEZ, A.; GUTIÉRREZ-MICELI, F.; ESCOBAR-GÓMEZ, E.; VOISIN, Y.; RIOS-ROJAS, C.; GRAJALES-COUTIÑO, R. Optical method for estimating the chlorophyll contents in plant leaves. **Sensors**, V. 18, pii: :E650, 2018.

PIVOTO, H. C. **Cultivo orgânico e custo de produção do morangueiro em diferentes sistemas semi-hidropônicos**. 2016. 57 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica. 2016.

RATURI, H. C.; UPPAL, G. S.; SINGH, S. K.; KACHWAYA, D. S. Effect of organic and inorganic nutrient sources on growth, yield and quality of bell pepper (*Capsicum annuum* L.) grown under polyhouse condition. **Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry**, v. 8, p. 1788-1792, 2019.

REMORINI, D.; TARDELLI, F.; MASSAI, R.; GUIDI, L.; DEGL'INNOCENTI, E.; AGATI, G. A non-destructive fluorescence method applied to the assessment of the quality of kiwifruit. **Acta Horticulturae**, v. 913, p. 547–552, 2011.

RIGA, P.; MEDINA, S.; GARCÍA-FLORES, L. A.; GIL-IZQUIERDO, A. Melatonin content of pepper and tomato fruits: effects of cultivar and solar radiation. **Food Chemistry**, v. 156, p. 347-352, 2014.

RUSSO, V. M. Effects of fertilizer rate, application timing and plant spacing on yield and nutrient content of bell pepper. **Journal of Plant Nutrition**, v. 14, p. 1047-1056, 2008.

SANTOS, R. F.; KLAR, A. E.; FRIGO, E. P. Crescimento da cultura de pimentão cultivado na estufa plástica e no campo sob diferentes doses de nitrogênio e potássio. **Irriga**, v. 8, p. 250-254, 2003.

SHARMA, N.; ACHARYA, S.; KUMAR, K.; SINGH, N.; CHAURASIA, O. P. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 17, p. 364, 2019.

SILVA, A. Z. **Sintomas de deficiências de macronutrientes em pimentão**. 2013. 41 p. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP, 2013.

SILVA, D. F.; ANDRADE, C. L. T.; SIMEONE, M. L. F.; AMARAL, T. A.; CASTRO, L. A. de; MOURA, B. F. **Análise de nitrato e amônio em solo e água**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2010. 55 p.

SILVA, L. A.; CONDORI-APFATA, J. A.; MARCELINO, M. M.; TAVARES, A. C. A.; RAIMUNDI, S. C. J.; MARTINO, P. B.; NUNES-NESE, A. Nitrogen differentially

modulates photosynthesis, carbon allocation and yield related traits in two contrasting *Capsicum chinense* cultivars. **Plant Science**, v. 283, p. 224-237, 2019.

SILVA, M. A. G.; BOARETTO, A. E.; MELO, A. D.; FERNANDES, H. M. G.; SCIVITTARO, W. B. Rendimento e qualidade de frutos de pimentão cultivado em ambiente protegido em função do nitrogênio e potássio aplicados em cobertura. **Scientia Agrícola**, v. 56, p. 1199-1207, 1999.

SILVA, M. A. G.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; FERNANDES, H. G.; GRANJA, F. A.; SCIVITTARO, W. B. Efeito do nitrogênio e potássio na nutrição do pimentão cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Ciência do solo**, v. 25, p. 913-922, 2001.

SINGH, M. C.; SINGH, K. G.; SINGH, J. P. Nutrient and water use efficiency of cucumbers grown in soilless media under a naturally ventilated greenhouse. **Journal of Agricultural Science and Technology**, v. 21, p. 193-207, 2019.

SLABS: uma técnica promissora para produzir hortaliças. Canal do horticultor. 2017. Disponível em: <<http://canaldohorticultor.com.br/slabs-uma-tecnica-promissora-para-produzir-hortalicas/>>. Acesso em: 06 jun. 2019.

SYLVESTER-BRADLEY, R.; KINDRED, D. R. Analysing nitrogen responses of cereals to prioritize routes to the improvement of nitrogen use efficiency. **Journal of Experimental Botany**, v. 60, p. 1939–1951, 2009.

TAIZ, L., ZEIGER, E., MOLLER, I. M. MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. Artmed Editora. 888 p. 2016.

TANASKOVIK, V.; CUKALIEV, O.; KANWAR, S. R.; HENG, L. K.; MARKOSKI, M.; SPALEVIC, V. Nitrogen fertilizer use efficiency of pepper as affected by irrigation and fertilization regime. **Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca**, v. 44, n. 2, p. 525–532, 2016.

TREMBLAY, N., WANG, Z.; CEROVIC, Z. G. Sensing crop nitrogen status with fluorescence indicators: A review. **Agronomy for Sustainable Development**, v.32, p.451-464, 2012.

TREMBLAY, N.; BÉLEC, C; JENNI, S; FORTIER, É.; MELLGREN, R. The Dualex: A new tool to determine nitrogen sufficiency in broccoli. **Acta Horticulturae**, v. 824, p. 121–131, 2009.

TREMBLAY, N.; WANG, Z.; BÉLEC, C. Evaluation of the Dualex for the assessment of corn nitrogen status. **Journal of Plant Nutrition**, v. 30, p. 1355–1369, 2007.

UDDLING, J.; GELANG-ALFREDSSON, J.; PIIKKI, K.; PLEIJEL, H. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. **Photosynthesis Research**, v. 91, p. 37–46, 2007.

VOOGT, W.; BAR-YOSEF, B. Water and nutrient management and crops response to nutrient solution recycling in soilless growing systems in greenhouses. In M. Raviv, J.; Lieth, J. H.; Bar-Tal, A. (Eds). *Soilless Culture - Theory and Practice*. 2th Edition. Elsevier. 2019, p. 113-148.

WAHOCHO, N. A.; ZESHAN AHMED, S.; JOGI, Q.; TALPUR, K. H.; LEGHARI, S. J. Growth and productivity of chilli (*Capsicum annuum* L.) under various nitrogen levels. **Science International**, v. 28, p.1321-1326, 2016.

WAMSER, A. F. Hortaliças sem solo. **Cultivar Hortaliças e Frutas**, v.14, n.101, p.17-19, 2017.

WANG, Y., YING, H., YIN, Y., ZHENG, H., CUI, Z. Estimating soil nitrate leaching of nitrogen fertilizer from global meta-analysis. **Science of the Total Environment**, v.657, p. 96-102, 2019.

XIANG, Y.; ZOU, H.; ZHANG, F.; WU, Y.; YAN, S.; ZHANG, X.; ZHOU, H. Optimization of controlled water and nitrogen fertigation on greenhouse culture of *Capsicum annuum*. **The Scientific World Journal**, v. 2018, p.1-11, 2018.

YASUOR, H.; BEN-GAL, A.; YERMIYAHU, U.; BEIT-YANNAI, E.; COHEN, S. Nitrogen management of greenhouse pepper production: agronomic, nutritional, and environmental implications. **Hortscience**, v. 48, p. 1241–1249, 2013.