

## ADUBOS VERDES EM CULTIVO PROTEGIDO: TERMOVISÃO COMO FERRAMENTA DE DIAGNOSE DE ESTRESSE

LUIZ GUILHERME LUNARDI<sup>1</sup>, JULIANA DE FÁTIMA VIZÚ<sup>2</sup>, KARLA MICHELE DA SILVA LIMA<sup>3</sup>, AMARILYS MACARI DE GIZ<sup>4</sup>, TAMARA MARIA GOMES<sup>5</sup>, FABRÍCIO ROSSI<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Graduando em Eng. de Biossistemas, FZEA/Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP. luizguilhermelunardi@usp.br

<sup>2</sup> Doutoranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ-Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

<sup>3</sup> Graduanda em Eng. de Biossistemas, FZEA/Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP.

<sup>4</sup> Doutoranda em Engenharia de Sistemas Agrícolas, ESALQ-Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

<sup>5</sup> Professora Associada do Departamento de Eng. de Biossistemas, FZEA/Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP.

<sup>6</sup> Professor Associado do Departamento de Eng. de Biossistemas, FZEA/Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP.

Apresentado no  
LII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2023  
18 a 21 de outubro de 2023 – Ribeirão Preto - SP, Brasil

**RESUMO:** Avaliar o comportamento dos adubos verdes em ambiente protegido é importante para se realizar um manejo adequado da irrigação, minimizando fatores de estresse. A termografia é uma tecnologia não invasiva capaz de identificar o comportamento térmico de objetos, plantas e animais de maneira instantânea. O presente trabalho teve por objetivo avaliar o estresse de adubos verdes em cultivo protegido, através de imagens térmicas. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro adubos verdes: *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco), *Crotalaria spectabilis* (crotalária-spectabilis), *Pennisetum glaucum* (milheto), *Dolichos lablab* (lablab), com oito repetições. As imagens termográficas foram coletadas em três datas (21/10, 25/11 e 30/12). A partir das temperaturas máxima, média e mínima calculou-se a temperatura relativa normalizada do dossel (TRND). O maior valor, na média, de TRND foi de 0,4573 para *C. ensiformis*, que não diferiu da *C. spectabilis* e do *D. lablab*, mas foram superiores ao *P. glaucum* (TRND = 0,4026). Estes valores, de maneira geral, não indicam que as plantas estavam sob estresse, sendo a umidade do solo adequada ao desenvolvimento das plantas.

**PALAVRAS-CHAVE:** adubação verde, *Crotalaria spectabilis*, imagem termográfica.

### THERMOVISION GREEN MANURES IN PROTECTED ENVIRONMENT: THERMOGRAPHY AS A STRESS DIAGNOSIS TOOL

**ABSTRACT:** Evaluating the behavior of green manures in greenhouse is important for proper irrigation management, minimizing stress factors. Thermography is a non-invasive technology capable of instantly identifying the thermal behavior of objects, plants, and animals. The present study aimed to assess the stress levels of green manures in protected cultivation using thermal imaging. The experimental design was randomized complete blocks with four green manures: *Canavalia ensiformis*, *Crotalaria spectabilis*, *Pennisetum glaucum*, *Dolichos lablab*, with eight replications. Thermal images were collected on three dates (21/10, 25/11, and 30/12). Based on the maximum, average, and minimum temperatures, the normalized relative canopy temperature (NRCT) was calculated. The highest average NRCT value was 0.4573 for *C. ensiformis*, which did not differ from *C. spectabilis* and *D. lablab*, but was higher than *P. glaucum* (NRCT = 0.4026). These values, in general, do not indicate that the plants were under stress, as the soil moisture was suitable for plant development.

**KEYWORDS:** *Crotalaria spectabilis*, green manure, thermographic image.

**INTRODUÇÃO:** Com o crescente aumento do preço dos fertilizantes, práticas biológicas de reciclagem e incremento de nutrientes, como a adubação verde, torna-se cada vez mais essenciais. A adubação verde é a prática agrícola conservacionista de cultivo de plantas com a finalidade de cobertura ou incorporação no solo, contribuindo para a proteção, retenção de água, redução da temperatura, ou seja, proporcionando melhoria das características físicas, químicas e biológicas do solo (MASSAD et al., 2014; WUTKE et al., 2014; TEODORO et al., 2011). Os efeitos produzidos pela adubação verde nas propriedades do solo são variáveis, dependendo da espécie utilizada, do manejo dado à biomassa, da época de plantio e o corte do adubo verde, do tempo de permanência dos resíduos no solo, das condições edafoclimáticas locais e da interação entre esses fatores (LIMA FILHO et al., 2014). Dentre as espécies mais utilizadas estão as fabáceas (leguminosas), devido à fixação biológica de nitrogênio, WUTKE; CALEGARI; WILDNER, 2014). As crotalárias apresentam elevada tolerância ao estresse hídrico, reduzem a multiplicação de fitonematoides no solo e proporcionam significativo acúmulo de fitomassa e nutrientes na parte aérea (PACHECO et al., 2015). Plantas de feijão-de-porco (*Canavalia ensiformis*), possuem características semelhantes às crotalárias, além de possuir tolerância ao sombreamento e bom desenvolvimento em solos com deficiência de fósforo (P). O adubo verde lablab (*Dolichos lablab*) é uma leguminosa bianual, suas hastes são longas, rasteiras, flexíveis e volúveis. Possuem crescimento rápido após 40 dias do plantio (DAP) com excelente cobertura no solo. Além de alta produção de biomassa e decomposição no solo (OLIVEIRA et al., 2010). Outras espécies como as poáceas (gramíneas) e as crucíferas também estão sendo utilizadas e podem trazer vantagens ao sistema, como o milheto (*Pennisetum glaucum*), uma espécie forrageira anual, de crescimento acelerado e um sistema radicular corpulento, permitindo perfilhamento, a redução de inóculos de enfermidades e pragas que residem no solo, as plantas de milheto são bem adaptadas aos solos de texturas de baixa fertilidade com boa resistência ao frio e seca (LIMA FILHO, 2014). Sendo importante a escolha das espécies de adubos verdes mais adequadas para cada tipo de clima, solo e sistema de manejo das plantas cultivadas (SEDIYAMA et al.; 2014). Com isso, avaliar o desenvolvimento dos adubos verdes em ambiente protegido é importante para se realizar um manejo adequado da fertilidade do sistema produtivo e conhecer seu potencial para cultivos em sucessão. Neste sentido, as câmeras termográficas, permitem uma abordagem direta e facilitada de condições fisiológicas de plantas (MENEGASSI et al, 2022), como por exemplo a condutância estomática, transpiração e estresse hídrico na planta, eliminando a necessidade de variáveis relativas à condição climática e a fisiologia da planta estudada, havendo apenas a necessidade de correção relacionadas a emissividade e radiação do ambiente (MAES et al., 2016). A termografia torna possível a identificação de plantas com deficiências hídricas, assim como a determinação da temperatura em regiões danificadas e intactas em plantas. Deste modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o estresse de adubos verdes em cultivo protegido, através de imagens térmicas.

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido entre os meses de setembro/2022 (semeadura dos adubos verdes) e janeiro/2023 (corte e manejo dos adubos), em uma estufa agrícola com 210 m<sup>2</sup> de área, pertencente ao laboratório de Tecnologia de Produção e Sanidade Vegetal, do Departamento de Engenharia de Biosistemas, na Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (ZEB/FZEA/USP), no município de Pirassununga-SP. O clima na região é do tipo Cwa (subtropical úmido) na classificação de Köppen, a temperatura média anual é de 20,8°C, com precipitação pluviométrica média anual de 1089 mm. Os adubos verdes (fabáceas) foram semeados no dia 17 de setembro de 2022. O milheto foi semeado em 9 de dezembro, em substituição a *Crotalaria ochroleuca*, que sofreu ataque intenso de pulgões (*Rhopalosiphum maidis*). Os adubos verdes foram manejados aos 108 dias após a semeadura (DAS) para as leguminosas e 22 DAS para o milheto, momento em que

foram manejados. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro adubos verdes: *Canavalia ensiformis* (feijão-de-porco), *Crotalaria spectabilis* (crotalária-spectabilis), *Pennisetum glaucum* (milheto), *Dolichos lablab* (lablab), com oito repetições, totalizando 32 parcelas experimentais. Cada parcela foi constituída de uma caixa de fibra de vidro de 0,5 m de profundidade e 1,0 m<sup>2</sup> de área superficial. O solo utilizado para o preenchimento das parcelas experimentais foi classificado como: Latossolo vermelho distrófico (Embrapa, 2013). Foi obtido no campus FZEA/USP. Antes de iniciar o experimento foi realizada a caracterização química e física do solo, no Laboratório de Ciências Agrárias/Solos/FZEA, segundo metodologia descrita em Raij et al. (2001). Com base no resultado da análise química do solo foi realizada a calagem visando elevar a saturação por bases para 70%. Foi utilizado 1,11 t ha<sup>-1</sup> de calcário dolomítico com um Poder Relativo de Neutralização Total (PRNT) de 95%. Todas as parcelas receberam adubação de plantio = 200 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 180 Kg ha<sup>-1</sup> K<sub>2</sub>O. O sistema de irrigação adotado foi de gotejamento. Cada parcela continha quatro linhas de tubo gotejadores, com 1 m de comprimento cada e espaçados 0,25 m. O gotejador escolhido é do tipo integrado, sem compensação de pressão, anti sifão, modelo Aires, marca Netafim®, vazão 1,6 L h<sup>-1</sup> e pressão de serviço de 15 m.c.a, espaçados a 0,15 m, entre gotejadores. Os tratamentos são individualizados por válvulas solenoides, uma para cada tratamento, operadas por painel controlador modelo Pro-C, marca Hunter® e uma motobomba. Na saída de cada bomba há um filtro de disco, para retenção de sólidos, e manômetros, para controle da pressão. Cada tratamento possui hidrômetro para controle do volume de água, além de regulador de pressão de 25 PSI. O manejo da irrigação é realizado, com base na determinação da umidade do solo, por tensiômetros instalados na parte central da parcela experimental, na profundidade de 0,20 m, com três repetições por tratamento, seguindo a metodologia adaptada por (MENEGASSI et al., 2022). As leituras da tensão do solo foram realizadas a cada dois dias às 9:00 h, por tensímetro digital da marca (Sonda Terra). O tempo de irrigação foi determinado em função da lâmina requerida para recompor a umidade do solo à capacidade de campo e os valores de tensão foram convertidos em umidade pela a curva característica de retenção da água no solo, determinada por mesa de tensão e câmara de Richards, no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Engenharia de Biosistemas/ESALQ/USP. Os dados obtidos foram ajustados pelo software SWRC (DOURADO et al., 2000) versão 3.00, modelo de VAN GENUCHTEN (1980). Para o solo deste experimento, a tensão de 9 kPa foi a recomendada para determinar a umidade do solo correspondente à capacidade de campo. A programação de irrigação foi realizada por painel controlador e cada tratamento teve o volume de irrigação aplicado, registrado por hidrômetro. A coleta das imagens térmicas para a determinação da temperatura do dossel foi realizada utilizando a câmera térmica FLIR E60, com resolução de 320 x 240 pixels, sensibilidade térmica <0,05°C e campo de visão de 25° x 19°. A emissividade da câmera foi ajustada para 0,98. A câmera foi posicionada perpendicularmente a parte central da parcela, com auxílio de um suporte, com 2,0 m de altura em relação ao piso da estufa, para garantir melhor enquadramento e padronização das imagens. Para análise neste trabalho foram usadas as imagens de três datas: (21/10, 25/11 e 30/12). As coletas ocorreram sempre no período da manhã no horário entre 7h00 e 9h00, com objetivo de evitar atingir as temperaturas mais altas do dia. Na coleta das imagens, foi retirada uma foto por parcela, fazendo com que o total de imagens obtidas fossem de 40 em todos os dias de avaliações. A umidade relativa do ar e a temperatura foram monitoradas por Termo-higrômetro digital, modelo ST9617. A câmera captura tanto a imagem termográfica quanto a imagem RGB (Figura 1).

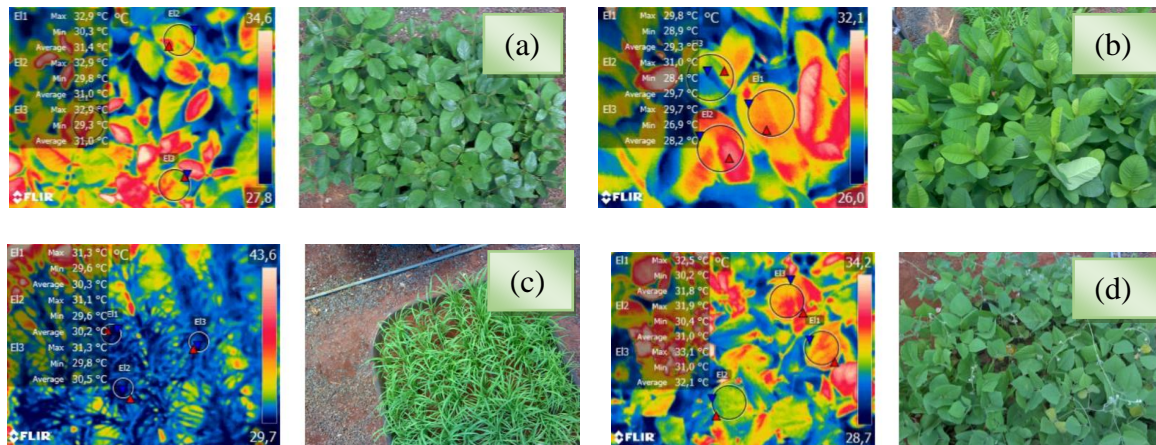


FIGURA 1. Imagens dos adubos verdes: feijão-de-porco (a), crotalária-spectabilis (b), milheto (c) e lablab (d), capturadas por câmera termográfica.

O processamento das imagens térmicas foi realizado no software FLIR Tools®, com o fornecimento dos parâmetros: emissividade, temperatura do ar (°C) e umidade relativa do ar (%), determinados no momento da captura da imagem. Com o software, foi feito um recorte de cada imagem para garantir análise somente de áreas ocupadas com adubos verdes. Do software foram extraídas as informações sobre temperaturas máximas, mínimas e médias, três repetições por imagem. O cálculo da temperatura relativa normalizada do dossel (TRND) foi feito a partir da seguinte equação (Elsayed et al., 2015):

$$TRND = (T_{med} - T_{min}) / (T_{max} - T_{min}) \quad (1)$$

em que,

NRND - Temperatura relativa normalizada do dossel;

T<sub>med</sub> – temperatura média;

T<sub>min</sub> – temperatura mínima;

T<sub>max</sub> – temperatura máxima;

Os valores de TRND variam de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, maior é o estresse sofrido pelas plantas. Para realizar os cálculos, foram selecionadas, em todas as imagens, 3 elipses de igual tamanho (Figura 2), mas de tamanhos diferentes entre parcelas, que cobriam apenas as áreas das folhas, evitando a seleção de área de solo. As elipses calculam a temperatura de todos os pixels contidos no interior de suas áreas, e com isso, pode-se encontrar com precisão os valores de T<sub>max</sub>, T<sub>min</sub> e T<sub>med</sub> para se calcular o TRND. Os dados foram submetidos a análise de variância (Anova) e as médias comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 10% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2019).

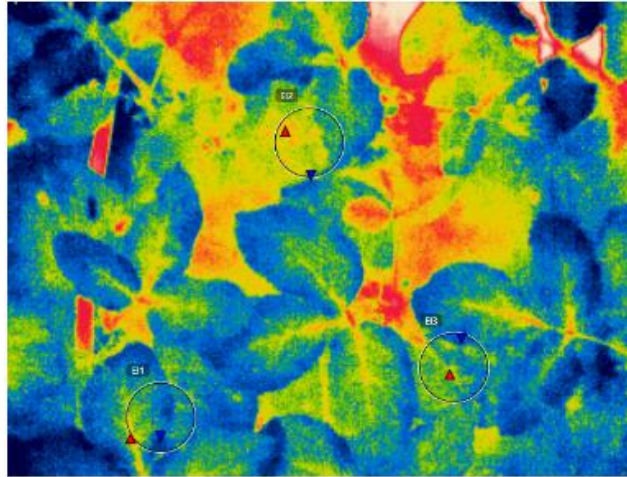


FIGURA 2. Elipses posicionadas sobre folhas de feijão-de-porco para medir temperatura, no software FLIR Tools ®.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Utilizando os dados coletados por meio das imagens termográficas, foi possível verificar a Temperatura Relativa Normalizada do Dossel (TRND) dos adubos verdes, e podemos afirmar que, quanto aos tratamentos, o valor mais alto, na média das datas, foi obtido pelo feijão-de-porco, com um TRND de 0,4573, que não diferiu da crotalária-spectabilis e do lablab, mas foram superiores ao milheto (TRND = 0,4026) (Tabela 1). Menegassi et al. (2022) estudaram o arroz cultivado sob estresse salino e obtiveram valor de TRND, ao florescimento, variando de 0,37 a 0,39.

TABELA 1. Temperatura relativa normalizada do dossel (TRND) dos adubos verdes, em diferentes datas, obtidas através de câmera termográfica.

Tratamentos	Datas			Média
	21/10	25/11	30/12	
Feijão-de-porco	0,4517	0,4501	0,4701	0,4573 a
Crotalária-spectabilis	0,3579	0,4336	0,4365	0,4094 ab
Lablab	0,4011	0,4740	0,4516	0,4422 ab
Milheto	0,3335	0,4764	0,3979	0,4026 b
Média	0,3861 B	0,4583 A	0,4391 A	
C.V. (%) <sup>Trat</sup>	25,43	C.V. (%) <sup>Datas</sup>	23,95	

Médias, seguidas de letras diferentes, diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p < 0,10$ ).

Em relação a análise nas datas de coleta, o menor valor de TRND foi na primeira avaliação, em 21/10, período que as plantas estavam menores, diferindo das outras duas avaliações, em 25/11 e 30/12. Com o passar do tempo, o dossel ocupou maior área das imagens termográficas, facilitando a análise de um maior número de pixels por imagem, o que pode melhorar a acurácia da avaliação. Convém destacar que os valores de TRND podem variar de 0 a 1, sendo considerado um estresse severo valores próximos a 1 (Elsayed et al., 2015). Deste modo, é possível considerar que nenhum dos adubos verdes encontravam-se em situação de estresse. Utilizar o manejo da irrigação baseado na tensão de água no solo consiste em realizar as irrigações quando a tensão no solo atinge um determinado valor crítico, que não afete o desenvolvimento da cultura e seu desempenho produtivo (Dabach et al., 2013). Assim, se torna possível evitar problemáticas quanto a escassez hídrica quanto por excesso de água no solo (Lima et al., 2012). O cálculo da quantidade total de irrigação depende das características físico-hídricas do solo, e a lâmina de irrigação necessária para elevar a umidade do solo entre

a tensão crítica e a tensão na capacidade de campo. Na (Figura 3) estão representadas as tensões médias registradas pelos tensiômetros, instalados nas profundidades de 0,20 m ao longo do ciclo de desenvolvimento das culturas estudadas.

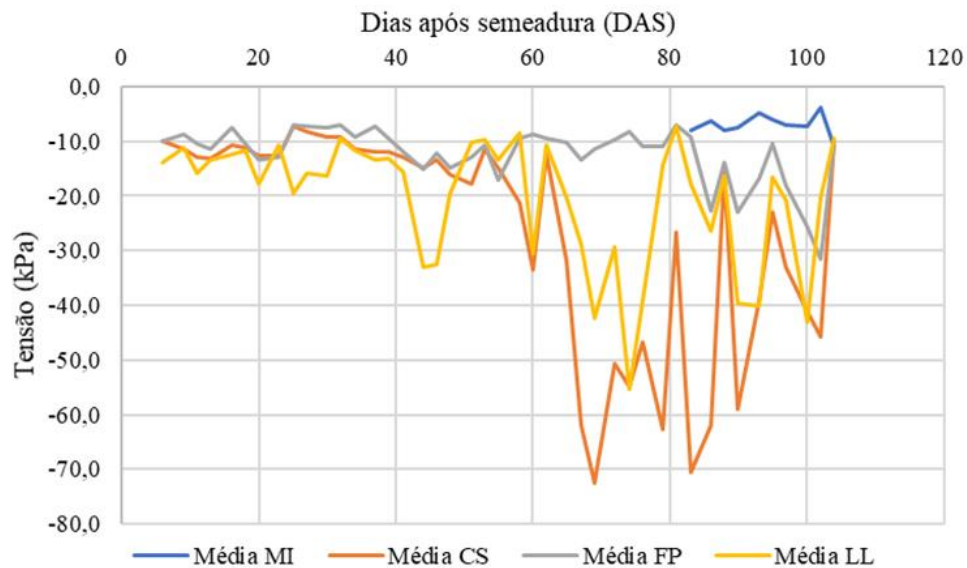


FIGURA 3. Variação das tensões nos tratamentos.

Utilizando os dados coletados de tensão média do solo nos respectivos tratamentos ao longo do cultivo dos adubos verdes, pode ser feita uma comparação dos valores com os da Tabela 1 a fim de se melhor observar os estresses sofridos pelas plantas. De acordo com Cavalcante (2009), valores baixos de tensão indicam solo úmido, enquanto valores altos indicam solo seco; dessa forma, observa-se no gráfico que todos os tratamentos apresentaram menores tensões no início de seu desenvolvimento, mas que os valores aumentaram com o passar dos dias. A Crotalária-spectabilis, que apresentou TRND inferior ao Lablab e ao Feijão-de-porco nas datas de 25/11 e 30/12, apresentou tensão superior a ambos em tais datas, indicando que mesmo o solo estando menos úmido, o estresse sofrido pela planta não foi maior. Em contrapartida, o Feijão-de-porco, que apresentou o maior TRND médio, demonstrou menores valores de tensão no solo do que os tratamentos com Crotalária-spectabilis e Lablab, indicando que mesmo o solo estando mais úmido, as parcelas contendo o adubo verde sofreram maior estresse, mesmo que não tenha se diferido estatisticamente dos tratamentos mencionados.

**CONCLUSÕES:** Os valores de temperatura relativa normalizada do dossel (TRND), de maneira geral, não indicam que as plantas estavam sob estresse, sendo a umidade do solo adequada ao desenvolvimento dos adubos verdes. A termovisão mostrou-se uma ferramenta potencial na diagnose do estresse das plantas.

**AGRADECIMENTOS:** A CAPES pela concessão da bolsa de doutorado da segunda autora. À empresa Pirá sementes, pela doação das sementes de adubos verdes.

## REFERÊNCIAS:

CAVALCANTE, Ana Clara Rodrigues; CAVALLINI, Maria Cec2lia; LIMA, NRC de B. Estresse por déficit hídrico em plantas forrageiras. 2009.

DOURADO-NETO, Durval et al. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). *Scientia Agricola*, Piracicaba, v.57, n.1, p. 191-192, 2000.

ELSAYED S, ELHOWEITY M, IBRAHIM HH, DEWIR YH, MIGDADI HM, SCHMIDHALTER U (2017). Thermal imaging and passive reflectance sensing to estimate the water status and grain yield of wheat under different irrigation regimes. *Agricultural Water Management* 189: 148–160.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. *Ciência e agrotecnologia*, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2019.

LIMA FILHO, O. F. d. et al. Adubação verde e plantas de cobertura no Brasil: fundamentos 18 e prática. [S.l.]: Embrapa, 2014.

MAES, Wouter H. et al. A new wet reference target method for continuous infrared thermography of vegetations. *Agricultural and Forest Meteorology* 226–227 p. 119–131, 2016.

MASSAD, M.D.; OLIVEIRA, F.L de.; Fávero, C.; DUTRA, T.R.; QUARESMA, M.A.L. Desempenho de milho verde em sucessão a adubação verde com crotalária, submetido a doses crescentes de esterco bovino, na caatinga mineira. *Magistra*, v.26, p. 322-332, 2014.

MENEGASSI, L. C.; BENASSI, V. C.; TREVISAN, L. R.; ROSSI, F.; GOMES, T. M. Thermal imaging for stress assessment in rice cultivation drip-irrigated with saline water. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.42, n.5, e20220043, 2022.

OLIVEIRA, P.; KLUTHCOUSCKI, J.; FAVARIN, J. L.; SANTOS, D. C. Sistema Santa Brígida - Tecnologia Embrapa: Consorciação de milho com leguminosas. Circular técnica 88. Embrapa. Santo Antônio de Goiás. 2010. 16 p.

PACHECO, L.P.; MIGUEL, A.S.D.; SILVA, E.M.B.; SOUZA, E.D de.; SILVA, F.D. Influência da densidade do solo em atributos da parte aérea e sistema radicular de crotalária. *Pesquisa Agropecuária Trop.*v.45, p.464-472, 2015.

RAIJ, B. van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. 285 p.

SEDIYAMA, M.A.N.; Santos, I.C.; LIMA, P.C. Cultivo de hortaliças no sistema orgânico. *Revista. Ceres*, Viçosa, v. 61, Suplemento, p. 829-837, nov/dez, 2014.

TEODORO, R. B., OLIVEIRA, F. L., SILVA, D. M. N., FAVERO, C., QUARESMA, M. A. L. Aspectos Agronômicos de Leguminosas para Adubação Verde no Cerrado do Alto Vale do Jequitinhonha. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.35, p.635 - 643, 2011.

WUTKE, E. A.; CALEGARI, A; WILDNER, L.P. Espécies de adubos verdes e plantas de cobertura e recomendações para seu uso. In: LIMA FILHO, O.F. de et al (Ed.). *Adubação Verde e Plantas de Cobertura no Brasil: Fundamentos e Prática*. Brasília: Embrapa, 2014. Cap2. p. 21-36.

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