

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Instituto de Biologia
Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal



Dissertação

**COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DA CULTURA DA SOJA EM TERRAS
BAIXAS**

CAROLINE HERNKE THIEL

Pelotas, 2019

Caroline Hernke Thiel

**COMPORTAMENTO FISIOLÓGICO DA CULTURA DA SOJA EM TERRAS
BAIXAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Fisiologia Vegetal.

Orientador: Dr. Sidnei Deuner

Coorientador: Dr. Germani Concenço

Pelotas, 2019

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

T431c Thiel, Caroline Hernke

Comportamento fisiológico da cultura da soja em terras baixas / Caroline Hernke Thiel ; Sidnei Deuner, orientador ; Germani Concenço, coorientador. — Pelotas, 2019.

51 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, 2019.

1. Análise de crescimento. 2. Camalhão. 3. Compactação. 4. Escarificação. 5. *Glycine max*. I. Deuner, Sidnei, orient. II. Concenço, Germani, coorient. III. Título.

CDD : 633.34

Elaborada por Ubirajara Buddin Cruz CRB: 10/901

Banca Examinadora

Dr. Sidnei Deuner (Orientador)

Dr. Germani Concenço

Dr. Marcos Antônio Bacarin

Dr. André Andres

Aos meus pais, Leomar e Mariléia,
meu irmão Henrique e meu namorado Vagner, por
todo o apoio e por me fazer acreditar em mim mesma

Dedico

Agradecimentos

Agradeço em primeiro lugar a Deus, pois sem Ele nada é possível.

Aos meus pais Leomar e Mariléia, por me ensinarem os valores que me levaram a ser quem sou e pela incansável luta diária onde abriram mão de seus próprios sonhos para que eu me dedicasse aos meus.

Ao meu irmão Henrique, por ser o meu melhor amigo sempre e estar sempre ao meu lado.

Ao meu namorado Vagner, por estar comigo desde o início dessa caminhada, me apoiando e me incentivando a sempre seguir em frente.

Agradeço imensamente à minha madrinha Vanja Wiskow, aos meus pais “adotivos” Maria Hobuss e Joe Araújo por me abrirem as portas de suas casas, permitindo que eu me tornasse um membro de cada uma dessas famílias. Jamais terei palavras o suficiente para agradecer o que fizeram por mim.

Aos meus colegas do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, em especial ao grupo do Laboratório de Nutrição de Plantas, por me ensinarem o poder da união e do trabalho em grupo, desde os perrengues até os momentos de comemoração, vocês se tornaram grandes amigos.

Agradeço ao meu orientador professor Dr. Sidnei Deuner, assim como ao meu coorientador Dr. Germani Concenço por todo o conhecimento repassado ao longo do período de mestrado.

A Embrapa Clima Temperado, especialmente aos pesquisadores Dr. José Maria Barbat Parffit e Dr. André Andres.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão da bolsa de estudos.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, pela dedicação e conhecimentos repassados ao longo do curso.

Enfim, meus sinceros agradecimentos a todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

“Não existem pessoas de sucesso e pessoas fracassadas, o que existem são pessoas que lutam pelos seus sonhos ou desistem deles.”

Augusto Cury

Resumo

THIEL, Caroline Hernke. **Comportamento fisiológico da cultura da soja em terras baixas**, 2019. 51 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Programa de Pós-Graduação em Fisiologia Vegetal, Instituto de Biologia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

A soja é uma cultura de grande importância econômica mundial com uma cadeia produtiva em ascensão, atraindo a atenção dos produtores, inclusive dos orizicultores do Rio Grande do Sul. O cultivo de soja em terras baixas no Sul do país vem com o intuito de melhorar aspectos dos solos dessa região, e combater algumas espécies daninhas que adquiriram resistência a tecnologias aplicadas no arroz, devido ao longo período de monocultivo. Porém algumas características destes solos dificultam o cultivo de espécies de sequeiro. Desta forma, este estudo teve por objetivo compreender as respostas fisiológicas de plantas submetidas a diferentes formas de manejo, com o objetivo de auxiliar no aperfeiçoamento de técnicas para produzir soja em terras baixas. Foram conduzidos dois experimentos neste estudo utilizando a cultivar BMX Ícone, sendo o primeiro em casa-de-vegetação e o segundo em condições de campo, ambos na safra 2017/18. O primeiro estudo avaliou altura de plantas, área foliar, teor e fluorescência de clorofila, assim como os índices de balanço de nitrogênio e flavonoides, de plantas submetidas a sete densidades do solo (1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9; 2,0 kg dm⁻³) e dois de umidade (10 e 50 kPa). Plantas submetidas a densidades entre 1,5 e 1,7 kg dm⁻³ apresentaram desempenho mais satisfatório, de forma que a condição de estresse hídrico demonstrou ser a mais limitante ao desenvolvimento da cultura. O estudo de campo avaliou diferentes sistemas de manejo do solo a campo, sendo estes: preparo do solo (com e sem escarificação) e sistema de cultivo (sulco-camalhão e convencional), sendo realizadas avaliações de teor de clorofilas, índice de balanço de nitrogênio, flavonoides e fluorescência da clorofila em três épocas com diferentes condições hídricas, e a análise de crescimento vegetal. As plantas apresentaram melhor desenvolvimento quando cultivadas sob sistema de sulco-camalhão, que possibilita melhor zona de aeração para o sistema radicular e umidade do solo, uma vez que esta técnica de manejo permite a utilização de irrigação.

Palavras-chave: análise de crescimento; camalhão; compactação; escarificação; *Glycine max*; terras baixas; trocas gasosas.

Abstract

THIEL, Caroline Hernke. **Physiological behavior of soybean crop in lowland environment**, 2019. 51 f. Dissertation (Master Degree in Plant Physiology) - Post-Graduation Program in Plant Physiology. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Soybean is a crop of great economic importance worldwide with a rising production chain, attracting producers attention, including rice farmers in Rio Grande do Sul. Soybean cultivation in lowland areas in Southern Brazil aims to improve soil aspects, and to allow controlling some weeds that are now resistant to herbicides applied in rice, due to the long monoculture period. However, some characteristics of these soils make it difficult to grow upland crop species. In this way, the aim of this study was to understand the physiological responses of soybean plants submitted to different soil management methods, with aim of assisting in making viable the production of soybean in lowlands. Two studies were conducted with the cultivar BMX Ícone, being the first one in greenhouse and the second one in field conditions, both in 2017/18 cropping season. In the experiment at greenhouse were evaluated plant height, leaf area, chlorophyll content and fluorescence, as well as nitrogen balance and flavonoid indexes, in plants submitted to seven soil densities (1.4, 1.5, 1.6, 1.7, 1.8, 1.9, 2.0 kg dm⁻³) and two humidity levels (10 and 50 kPa). Plants submitted to densities between 1.5 and 1.7 kg dm⁻³ presented a more satisfactory performance, so that water stress condition proved to be the most limiting for crop development. The field study evaluated different soil management systems, being: soil tillage (with and without chiseling) and cultivation system (raised-bed and conventional), being carried out evaluations of chlorophyll content, nitrogen balance index, flavonoids and chlorophyll fluorescence in three seasons with different water conditions, as well as a plant growth analysis. Plants showed better development when cultivated under a raised-bed system, which allows a better aeration zone for root system and soil moisture, since this management technique allows the use of irrigation.

Keywords: growth analysis; raised-bed; compaction; soil scarification; *Glycine max*; lowlands; gas exchange.

Lista de Figuras

- Figura 1** Efeito da densidade na altura de plantas de soja cv. BMX Ícone submetidas ao regime hídrico de 10 kPa (figura à esquerda) e de 50 kPa (figura à direita) ambos os fatores mantidos ao longo de todo o ciclo da cultura. As linhas correspondentes a cada densidade estão descritas ao lado, de forma que quando os tratamentos apresentam diferença, os intervalos não se sobrepõem.....22
- Figura 2** Efeito da densidade do solo (kg dm^{-3}) na área foliar de plantas de soja cv. BMX Ícone submetidas ao regime hídrico de 10 kPa (figura à esquerda) e de 50 kPa (figura à direita) ambos os fatores mantidos ao longo de todo o ciclo da cultura. As linhas correspondentes a cada densidade estão descritas ao lado, de forma que quando os tratamentos apresentam diferença, os intervalos não se sobrepõem.....23
- Figura 3** Efeito da umidade e densidade do solo sobre o índice de clorofila, balanço de nitrogênio e flavonoides aos 9 dias após a emergência. A linha contínua corresponde a tensão de 50 kPa e a linha pontilhada 10 kPa, que apresentam diferença quando os intervalos não se sobrepõem. Diferenças entre os níveis de densidade são representadas pela presença da equação.....24
- Figura 4** Efeito da umidade e densidade do solo sobre o índice de clorofila, balanço de nitrogênio e flavonoides aos 28 dias após a emergência. A linha contínua corresponde a tensão de 50 kPa e a linha pontilhada 10 kPa, que apresentam diferença quando os intervalos não se sobrepõem. Diferenças entre os níveis de densidade são representadas pela presença da equação.....25
- Figura 5** Médias de precipitação e temperatura no mês de janeiro de 2018. Fonte: Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado.....27
- Figura 6** Médias de precipitação e temperatura no mês de fevereiro de 2018. Fonte: Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado.....29
- Figura 7** Efeito dos diferentes manejos de solo sobre o índice de clorofila (Chl), balanço de nitrogênio (NBI) flavonoides (Flv) e eficiência quântica máxima do FSII, aos 27 dias após a emergência. Onde: T1 – Escarificado com plantio no sistema sulco-camalhão; T2 – Escarificado com plantio convencional; T3 – Não escarificado sobre sulco-camalhão; e T4 – Não escarificado com plantio convencional. Médias seguidas

pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.....31

Figura 8 Efeito dos diferentes manejos de solo sobre o índice de clorofila (Chl), balanço de nitrogênio (NBI) flavonoides (Flv) e eficiência quântica máxima do FSII, aos 41 dias após a emergência. Onde: T1 – Escarificado com plantio no sistema sulco-camalhão; T2 – Escarificado com plantio convencional; T3 – Não escarificado sobre sulco-camalhão; e T4 – Não escarificado com plantio convencional. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.....32

Figura 9 Efeito dos diferentes manejos de solo sobre o índice de clorofila (Chl), balanço de nitrogênio (NBI) flavonoides (Flv) e eficiência quântica máxima do FSII, aos 61 dias após a emergência. Onde: T1 – Escarificado com plantio no sistema sulco-camalhão; T2 – Escarificado com plantio convencional; T3 – Não escarificado sobre sulco-camalhão; e T4 – Não escarificado com plantio convencional. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste Tukey a 5% de probabilidade de erro.....33

Figura 10 Massa seca de folhas, colmos e total correspondente a cada tratamento, sendo T1 – Escarificado com plantio no sistema sulco-camalhão; T2 – Escarificado com plantio convencional; T3 – Não escarificado sobre sulco-camalhão; e T4 – Não escarificado com plantio convencional. A diferença entre os tratamentos ocorre quando os intervalos não se sobrepõem.....35

Figura 11 Área, índice de área foliar, área foliar específica, razão de área e de massa foliar correspondente a cada tratamento, sendo T1 – Escarificado com plantio no sistema sulco-camalhão; T2 – Escarificado com plantio convencional; T3 – Não escarificado sobre sulco-camalhão; e T4 – Não escarificado com plantio convencional. A diferença entre os tratamentos ocorre quando os intervalos não se sobrepõem.....36

Figura 12 Taxa de crescimento absoluto, relativo e assimilação líquida correspondente a cada tratamento, sendo T1 – Escarificado com plantio no sistema sulco-camalhão; T2 – Escarificado com plantio convencional; T3 – Não escarificado sobre sulco-camalhão; e T4 – Não escarificado com plantio convencional. A diferença entre os tratamentos ocorre quando os intervalos não se sobrepõem.....37

Sumário

INTRODUÇÃO	12
MATERIAL E MÉTODOS	16
RESULTADOS	21
DISCUSSÃO	38
CONCLUSÃO	43
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
CONSIDERAÇÕES FINAIS	51

INTRODUÇÃO

A soja (*Glycine max* L. Merrill) pertence à família Leguminosae e subfamília Faboideae, originária da Ásia, sendo considerada uma das mais antigas daquela área (COSTA, 1996). Classificada como dicotiledônea, possui sistema radicular pivotante, que obtêm alta capacidade simbiótica com bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico. Possui caule herbáceo, ereto, com porte variável e bastante ramificado, folhas alternadas, longas, pecioladas e compostas de três folíolos de comprimento variável (FABRIS et al., 2011). As inflorescências das plantas de soja são compostas por flores perfeitas, onde os órgãos masculinos e femininos são protegidos dentro da corola, o que explica a espécie ser essencialmente autógama, ou seja, de autofecundação (NUNES, 2016).

A soja é uma planta do metabolismo fotossintético tipo C3, onde a enzima responsável pela fixação de CO₂ é a rubisco, formando uma molécula de três carbonos como primeiro composto estável desta rota (TAIZ & ZEIGER, 2016). É uma espécie sensível ao fotoperíodo, com diferentes variações de sensibilidade entre as diferentes cultivares. Possui ciclo anual, apresentando grande capacidade adaptativa, o que propiciou a disseminação do seu cultivo nos diferentes ambientes agricultáveis do mundo.

É considerada atualmente como uma das culturas mais importantes do mundo, por ter uma cadeia produtiva em ascensão de grande importância econômica (HIRAKURI & LAZZAROTO, 2014). Diferente da maioria das culturas de cereais, onde o carboidrato é o principal nutriente, a soja possui alto valor nutritivo, apresentando adicional de proteína, óleo, micronutrientes e isoflavonas, que são compostos benéficos para a saúde humana (HE & CHEN, 2013). O destino mais comum do grão de soja é a obtenção de farelo utilizado na alimentação animal, e a extração de óleo que possui múltiplas possibilidades de utilização, desde emulsificante na indústria alimentícia até a utilização em cosméticos, garantindo um forte mercado para a soja (MISSÃO, 2006).

Segundo dados da *United States Department of Agriculture* (2017) aproximadamente 69% de toda a proteína vegetal produzida a nível mundial, nos últimos 5 anos, é proveniente do farelo de soja. Essa produção advém de 120 milhões de hectares agrícolas, e destes, 33 milhões de hectares estão em território

brasileiro, porém, o principal produtor de soja a nível mundial ainda é os Estados Unidos, seguido pelo Brasil e a Argentina.

No Brasil, a soja foi introduzida em 1918, ganhando destaque no fim da década de 1960 (ROSA & MAKIYA, 2011). Atualmente a soja vem fortalecendo a posição do país no comércio agrícola mundial, permitindo exercer influência sobre o mercado mundial de commodities agrícolas (HIRAKURI & LAZZAROTO, 2014), sendo a cadeia produtiva uma das mais organizadas do agronegócio brasileiro.

Segundo a Conab, a safra brasileira de 2018/19 espera alcançar produção de 120,1 milhões de toneladas, com crescimento de 1,8% da área plantada em relação à safra de 2017/18, sendo que Mato Grosso lidera o ranking de produtividade. A área cultivada de soja no Brasil, em sua maior parte, não conta com o manejo de irrigação, de forma que condições inadequadas de precipitação podem impactar severamente a produção. O país está entre os 10 que possuem as melhores áreas com capacidade do uso de irrigação, porém apenas uma pequena parte é utilizada (EMBRAPA, 2018). A FAO já em 2010 indicou que a utilização de irrigação nos países desenvolvidos deve crescer em 20% até 2030, para atingir a crescente demanda da população, mas também serão necessárias novas técnicas de manejo mais eficientes na utilização da água.

A indisponibilidade hídrica limita drasticamente o crescimento e a capacidade produtiva da soja (XU et al., 2018) podendo reduzir em 50% o rendimento médio da cultura, trazendo prejuízos a produtividade agrícola (AKPINAR et al., 2013). Portanto, é necessário encontrar alternativas sustentáveis que melhorem ou mantenham a estrutura física do solo, facilitando o suprimento de água, oxigênio e nutrientes, além do crescimento e desenvolvimento radicular (BLAINSKI et al., 2008).

No Rio Grande do Sul, os solos hidromórficos, denominados “terras baixas”, ocupam aproximadamente 5,4 milhões de hectares, e possuem características de baixa permeabilidade, com horizonte A pouco profundo (VAHL & SOUZA, 2004). Estes solos são propensos a alterações físicas como o aumento de densidade e da resistência do solo à penetração, diminuição da porosidade e alteração na continuidade dos poros (MACHADO et al., 1997), fatores que influenciam no nível de compactação.

O nível de compactação é compreendido através da determinação da densidade deste solo, que por sua vez considera a massa de um solo em um dado

volume onde, conforme for diminuindo o espaço poroso deste solo a densidade deste aumenta de forma proporcional (KLEIN, 2012). A compactação pode ser ocasionada através do trânsito de máquinas e ação dos implementos agrícolas nas diferentes etapas de manejo de uma cultura, esse processo pode vir a ocasionar um retardo no desenvolvimento das culturas, sistema radicular superficial pelo aumento da resistência mecânica ao crescimento, raízes mal formadas, além da redução na taxa de infiltração da água no solo, na macroporosidade, na aeração e na disponibilidade de água e nutrientes às plantas (PIFFER et al., 2010).

As características naturais dos solos de terras baixas contribuíram para que a cadeia produtiva do arroz irrigado se consolidasse no Rio Grande do Sul. No entanto o monocultivo sucessivo afetou a qualidade destes solos, além de dificultar o controle de plantas daninhas, em especial o arroz vermelho que se tornou resistente aos herbicidas do sistema Clearfield® (MENEZES et al., 2009). Portanto, a utilização de culturas de sequeiro são uma alternativa para aumentar a eficiência do sistema produtivo (EMYGDIO, ROSA e SILVA, 2015) em especial a soja, garantindo rentabilidade ao produtor (MARCHESAN, 2013).

No Rio Grande do Sul a área plantada cresceu cerca de 30% nos últimos 15 anos (CONAB, 2018), e segundo dados do IRGA (2016) a área de soja cultivada em rotação com arroz irrigado aumentou e se consolidou em cerca de 280 mil hectares. Rocha e colaboradores (2017) indicam que o cultivo de soja em solos hidromórficos faz com que as plantas sejam expostas ao estresse hídrico, até mesmo em anos com precipitação de chuvas bem distribuídas ao longo da estação de crescimento, em razão da baixa capacidade de armazenamento de água desses solos. Portanto, é necessário buscar alternativas para melhorar as condições de cultivo de plantas de sequeiro em terras baixas, especialmente a soja.

A escarificação favorece a drenagem interna do perfil do solo (SARTORI et al., 2015), enquanto a utilização de camalhões promove uma maior aeração deste (SILVA et al., 2007), permitindo assim, ambiente mais favorável ao crescimento das raízes de soja, gerando maior aporte de água e nutrientes para a planta, o que conseqüentemente resulta na produtividade da cultura. Porém existem indícios de que estas duas técnicas aplicadas em conjunto podem intensificar o déficit hídrico em períodos de seca (GUBIANI et al., 2018). Outro fator importante, é que a utilização destas técnicas representa custo ao produtor, sendo necessário avaliar os

benefícios destas na fisiologia das plantas, visando averiguar a viabilidade da utilização destas formas de manejo do solo.

Nessa perspectiva, as respostas fisiológicas das plantas são uma ferramenta para avaliar como a variação de disponibilidade hídrica no solo e do sistema de manejo atuam sobre o metabolismo vegetal. Plantas são organismos autotróficos capazes de responder às características do ambiente ao seu redor; portanto, é importante compreender como se dá esse feedback e como pode ocorrer a otimização de seu desempenho (GOSA et al., 2018). Diante este cenário, compreender os mecanismos fisiológicos de resposta ao estresse hídrico em soja é crucial para buscar alternativas que minimizem perdas, e assim, adequar os métodos utilizados no manejo da cultura da soja em terras baixas.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram conduzidos dois experimentos, ambos na Embrapa Clima Temperado – Estação Terras Baixas (ETB), no município de Capão do Leão/RS, ano agrícola 2017/2018 com a cultura da soja cultivar BMX Ícone, escolhida devido ao alto potencial produtivo em Terras Baixas (TIMM et al., 2017).

Estudo 1

Instalado em casa-de-vegetação, o estudo 1 conduziu plantas sob diferentes níveis de compactação e umidade do solo, ao longo de 55 dias após a emergência, mantendo as plantas sob as condições previamente estabelecidas ao longo de todo o experimento.

O solo utilizado foi coletado no campo experimental da ETB, classificado como Planossolo Háplico (JACOMINE, 2009). No momento da coleta foi realizada a verificação da densidade do solo com o auxílio de um penetrômetro de impacto, observando o valor de $1,6 \text{ kg dm}^{-3}$ a 10 cm de profundidade. Foram utilizados vasos de PVC com 30 cm de diâmetro e 35 cm de altura, sendo reproduzidas as densidades de 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9 e $2,0 \text{ kg dm}^{-3}$, de forma que a menor densidade utilizada ($1,4 \text{ kg dm}^{-3}$) foi obtida somente adicionando o solo previamente pulverizado ao vaso, sem compactação. As demais densidades foram alcançadas com auxílio de um socador de madeira de forma que, o solo foi adicionado nos vasos em volumes necessários para alcançar a densidade desejada para o tratamento, quando compactados em camadas sucessivas de 4 cm, até 20cm de altura. Foram utilizados dois níveis de umidade: 10 kPa representando a capacidade de campo ou ampla disponibilidade hídrica à planta, e 50 kPa a umidade recomendada para início da irrigação, controlados com a utilização de sensores watermark[®], com um sensor instalado em cada vaso, na profundidade de 10 cm, conectados a dataloggers com registro horário da tensão de água no solo. As tensões de água foram monitoradas duas vezes ao dia, e quando necessário, adicionava-se a quantidade de água para restabelecer a umidade do tratamento em cada vaso.

Após esse preparo do solo ocorreu a semeadura em 09 de outubro de 2017, utilizando sete sementes por vaso na profundidade de 2 cm; a emergência média das plântulas ocorreu no dia 16 de outubro. Aproximadamente seis dias após a

emergência foi realizado desbaste, mantendo as quatro plantas mais homogêneas de cada vaso.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições, e tratamentos arranjados em esquema fatorial 7 x 2, onde o fator A representa os diferentes níveis de densidade do solo (1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 1,9 e 2,0 kg dm⁻³) enquanto o fator B os níveis de umidade (10 e 50 kPa), sendo o vaso a unidade experimental.

Foram realizadas as seguintes avaliações:

Altura de plantas e área foliar: a altura de plantas foi obtida pela aferição com régua milimetrada de todas as plantas, realizada a cada dois dias. Já para determinar a área foliar foram efetuadas medidas de comprimento e largura do trifólio médio de cada planta duas vezes por semana, e estes multiplicados pelo número de folhas e por um fator de correção estabelecido por Richter et al. (2014).

Índice de clorofila, balanço de nitrogênio e flavonoides: foram determinados os índices de clorofila (Chl), balanço de nitrogênio (NBI), e flavonoides (Flv) com auxílio de um clorofilômetro (modelo Dualex FORCE-A, Orsay, France). O índice de Flv é deduzido a partir de propriedades de absorção UV de flavonoides. Esta abordagem está relacionada à técnica de fluorescência utilizando dois comprimentos de onda de excitação: no comprimento de onda de UV (375 nm), absorvido por flavonoides, localizados principalmente na epiderme; e no comprimento de onda de referência que passa através da epiderme, sem ser absorvido antes de atingir a clorofila no mesofilo. A relação entre Chl/Flv permite a estimativa do índice de NBI (ABDALLAH, 2012). As avaliações foram realizadas aos 9 e aos 28 dias após a emergência, buscando observar a resposta logo que as plantas foram submetidas ao estresse, e como esse comportamento se deu com a continuidade das condições de estresse.

Análise estatística: Os dados foram submetidos à análise da variância ($p \leq 0,05$) e analisados por regressão polinomial de primeiro grau para altura, e polinomial quadrática para dados de área foliar, índice de clorofila, balanço de nitrogênio, flavonoides e eficiência quântica máxima do fotossistema II, representando as diferenças entre as densidades. As umidades foram comparadas pelo intervalo de confiança a 95%, e os dados foram considerados distintos quando os intervalos de confiança não se sobrepuseram (CONCENÇO et al., 2018). Todo o

conjunto de dados foi processado no ambiente estatístico “R”, aplicando-se funções disponíveis nos pacotes “base” e “ggplot2” (R CORE TEAM, 2018).

Estudo 2

O estudo 2 foi instalado a campo, com os seguintes tratamentos: (1) solo previamente escarificado, com plantio no sistema de sulco-camalhão; (2) solo previamente escarificado, com plantio convencional; (3) solo não escarificado, com plantio sobre sulco-camalhão; e (4) solo não escarificado, com plantio convencional. As parcelas experimentais mediram 5m de comprimento por 6m de largura.

Para o preparo da área experimental, nos tratamentos 1 e 2 o solo foi escarificado com escarificador tratorizado, com hastes espaçadas em 30 cm, à profundidade de 30 cm, sempre no mesmo sentido das linhas de semeadura. Posteriormente, toda a área experimental foi adubada a lanço, com a utilização de fertilizante NPK 0-25-25 na dosagem de 700 kg ha⁻¹, que foi incorporado através de passagem de grade leve. Nas áreas dos tratamentos 1 e 3 foram construídos os sulco-camalhões com camalhoeira munida de pé de pato, de forma que os camalhões foram definidos com largura de 90 cm entre sulcos, e crista com 10 cm de altura.

Cada camalhão comportou a semeadura de duas linhas de soja da cv. BMX Icone, que ocorreu em 08 de dezembro de 2017, utilizando a densidade de 33 sementes m⁻² para todos os tratamentos. A emergência ocorreu 8 dias após plantio (DAP), no dia 16/12/2017. Para o manejo das plantas daninhas foram utilizados 1,6 kg ha⁻¹ de s-metolachlor em pré-emergência da cultura, seguido por uma aplicação de glifosato 25 dias após a emergência (DAE). Não houve necessidade de aplicação de inseticidas ou fungicidas ao longo do ciclo de cultivo.

O experimento foi instalado em delineamento de blocos casualizados com dez repetições, sendo avaliados dois fatores: Preparo do solo (com e sem escarificação), e sistema de cultivo (sulco-camalhão e convencional).

As plantas foram submetidas as seguintes avaliações:

Índice de clorofila, balanço de nitrogênio e flavonoides: Foram determinados os índices de clorofila (Chl), balanço de nitrogênio (NBI), flavonoides (Flv) com auxílio de um clorofilômetro (modelo Dualex FORCE-A, Orsay, France). As avaliações foram realizadas em três épocas distintas com relação as condições climáticas, sendo a primeira aos 27, 41 e 61 dias após emergência, correspondendo

a condição de alta pluviosidade, pluviosidade adequada, e período com déficit, respectivamente.

Fluorescência da clorofila: A eficiência quântica máxima do FSII (F_v/F_m) foi definida como $(F_m - F_o)/F_m$, onde F_m corresponde a fluorescência máxima, que indica a intensidade de fluorescência sob exposição ao flash de saturação, e F_o a fluorescência inicial, que ocorre quando todos os complexos antena são considerados abertos. Todas as avaliações foram realizadas no 3º trifólio completamente expandido de cada planta, pré-adaptada ao escuro por 20 minutos, mensurada com o auxílio de um fluorômetro (Opti-Sciences, OS-30p). As leituras foram realizadas nos mesmos períodos citados para índice de clorofila e nitrogênio.

Análise de crescimento: Semanalmente, a partir de 20 dias após o plantio da cultura, ao longo de 16 semanas, dez plantas de cada tratamento foram coletadas. As plantas logo que colhidas foram pesadas, para assim determinar o peso da massa fresca, sendo posteriormente realizada a aferição da altura e área foliar (RICHTER et al. 2014) com o auxílio de régua milimetrada; após isto as plantas foram separadas em caules e folhas, acondicionadas separadamente em sacos de papel Kraft e mantidas em estufa a 65°C, até que atingissem massa constante para posteriormente realizar-se a determinação da massa seca dessas partes em balança de precisão. Os procedimentos para determinação da área foliar seguiram o preconizado por Richter et al. (2014).

Com a determinação da área foliar (AF), massa seca de colmos (MSC), de folhas (MSF) e total (MST), foi possível definir outros parâmetros, utilizando as fórmulas instantâneas segundo Gardner et al. (1985) e Hunt (2017). Tais como, o índice de área foliar (IAF), a taxa de crescimento absoluto (TCA), a taxa de crescimento relativo (TCR), a taxa de assimilação líquida (TAL), a área foliar específica (AFE), a razão de área (RAF) e a razão de massa foliar (RMF).

Análise estatística: Os dados foram submetidos à análise da variância ($p \leq 0,05$) e comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade de erro, para os teores de clorofila, balanço de nitrogênio, flavonoides e eficiência quântica máxima do fotossistema II. Para a análise de crescimento os dados foram analisados através de regressão polinomial e intervalos de confiança (95%). Todas as análises estatísticas dos dados coletados, bem como os gráficos, foram executadas no ambiente estatístico "R" (R CORE TEAM, 2018), utilizando funções

do pacote “ggplot2”. Os dados foram considerados distintos quando os intervalos de confiança, não se sobreuseram (CONCENÇO et al., 2018).

RESULTADOS

Quanto aos resultados obtidos no experimento em casa de vegetação, as avaliações de altura e área foliar das plantas demonstraram respostas diferentes para ambas variáveis analisadas, umidade e densidade do solo. A altura das plantas de soja submetidas a condição adequada (10 kPa) apresentaram resultados que podem ser separados em três grupos, de forma que os resultados mais satisfatórios foram obtidos pelas plantas cultivadas na densidade de 1,5 e 1,7 kg dm⁻³ com valores de 37 cm de altura ao final das avaliações, respectivamente; o segundo grupo compreendeu resultados considerados satisfatórios, nas densidades de 1,4; 1,8 e 1,9 kg dm⁻³, com plantas medindo de 33 cm de altura, enquanto que o maior nível de densidade do solo (2,0 kg dm⁻³) incluiu plantas de 25 cm de altura, demonstrando resultados inferiores e insatisfatórios, que podem ser observados desde os 10 dias após a emergência (figura 1).

Porém, quando o estresse hídrico foi intensificado a 50 kPa, a resposta observada foi diferente (figura 1), comparativamente a umidade de 10 kPa. A menor disponibilidade de água comprometeu o porte das plantas em todos os níveis de densidade, que de forma geral apresentaram altura 20% menor do que o respectivo tratamento com tensão de 10 kPa. Quanto aos níveis de densidade, as plantas que melhor responderam a condição de 50 kPa de umidade, foram aquelas cultivadas em densidade de 1,6 kg dm⁻³ com 31 cm de altura, seguidas pelas plantas sob 1,7 kg dm⁻³ de solo, as quais obtiveram altura de 27 cm. Os tratamentos restantes apresentaram resultados inferiores, com 24 cm de altura (figura 1).

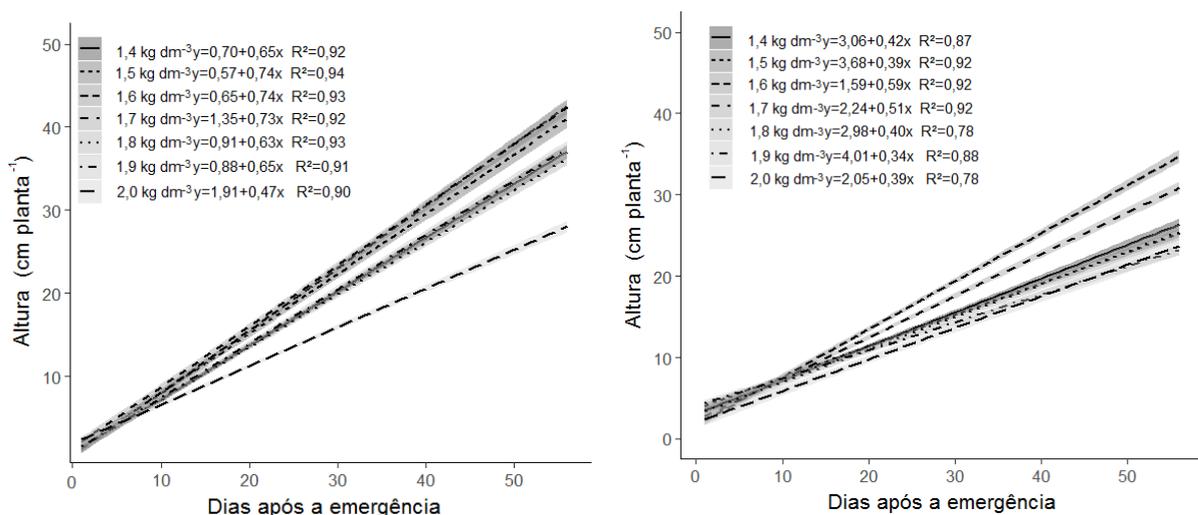


Figura 1 - Efeito da densidade na altura de plantas de soja cv. BMX Ícone submetidas ao regime hídrico de 10 kPa (figura à esquerda) e de 50 kPa (figura à direita) ambos os fatores mantidos ao longo de todo o ciclo da cultura. Intervalos de confiança a 95% são apresentados, as linhas correspondentes a cada densidade estão descritas ao lado, de forma que quando os tratamentos apresentam diferença, os intervalos não se sobrepõem.

Os resultados observados para a área foliar seguiram a mesma tendência do que foi observado na altura das plantas, de forma que para a umidade de 10 kPa a área foliar dos tratamentos com densidade de 1,4 kg dm^{-3} a 1,9 kg dm^{-3} foi próxima, não apresentando distinção pela sobreposição dos intervalos, porém para a densidade de 2,0 kg dm^{-3} o valor da área foliar foi significativamente menor, representando aproximadamente 50% de área foliar a menos que os demais níveis de densidade do solo (figura 2).

As plantas submetidas a umidade de 50 kPa, obtiveram área foliar menor comparativamente as plantas submetidas a umidade de 10 kPa. De forma que, as plantas quando submetidas a menor disponibilidade hídrica (50 kPa), apresentaram resultados mais satisfatórios sob as densidades de 1,6 e 1,7 kg dm^{-3} , alcançando valores de aproximadamente, 73 e 64% superiores às demais densidades, respectivamente.

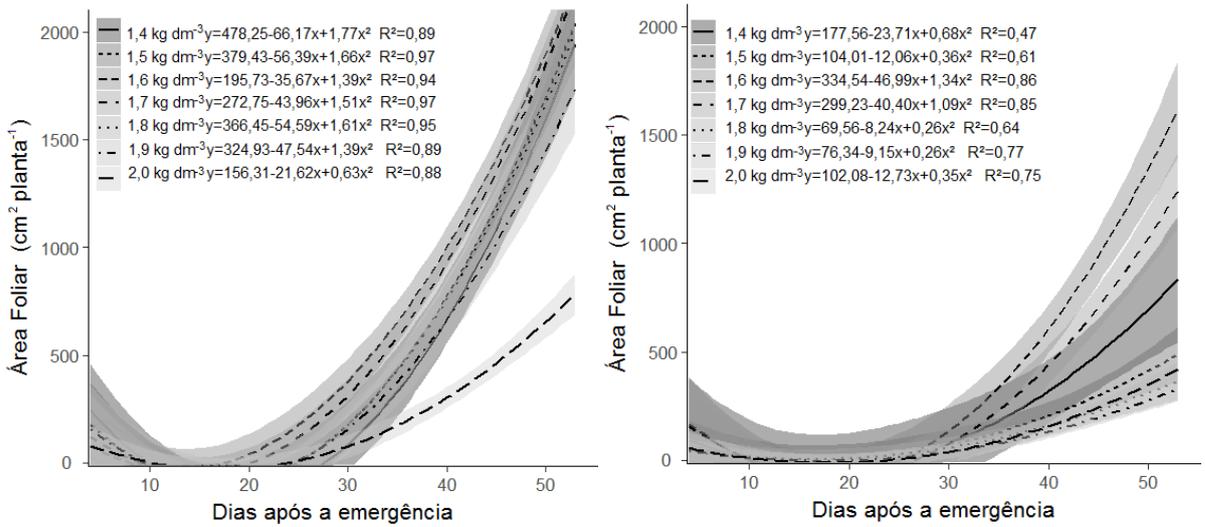


Figura 2 - Efeito da densidade do solo (kg dm^{-3}) na área foliar de plantas de soja cv. BMX Ícone submetidas ao regime hídrico de 10 kPa (figura à esquerda) e de 50 kPa (figura à direita) ambos os fatores mantidos ao longo de todo o ciclo da cultura. Intervalos de confiança a 95% são apresentados, as linhas correspondentes a cada densidade estão descritas ao lado, de forma que quando os tratamentos apresentam diferença, os intervalos não se sobrepõem.

Os índices de clorofila, balanço de nitrogênio e flavonoides, aos 9 DAE não apresentaram diferença em nenhuma das variáveis analisadas, seja para os diferentes níveis de compactação ou para as diferentes umidades (figura 3).

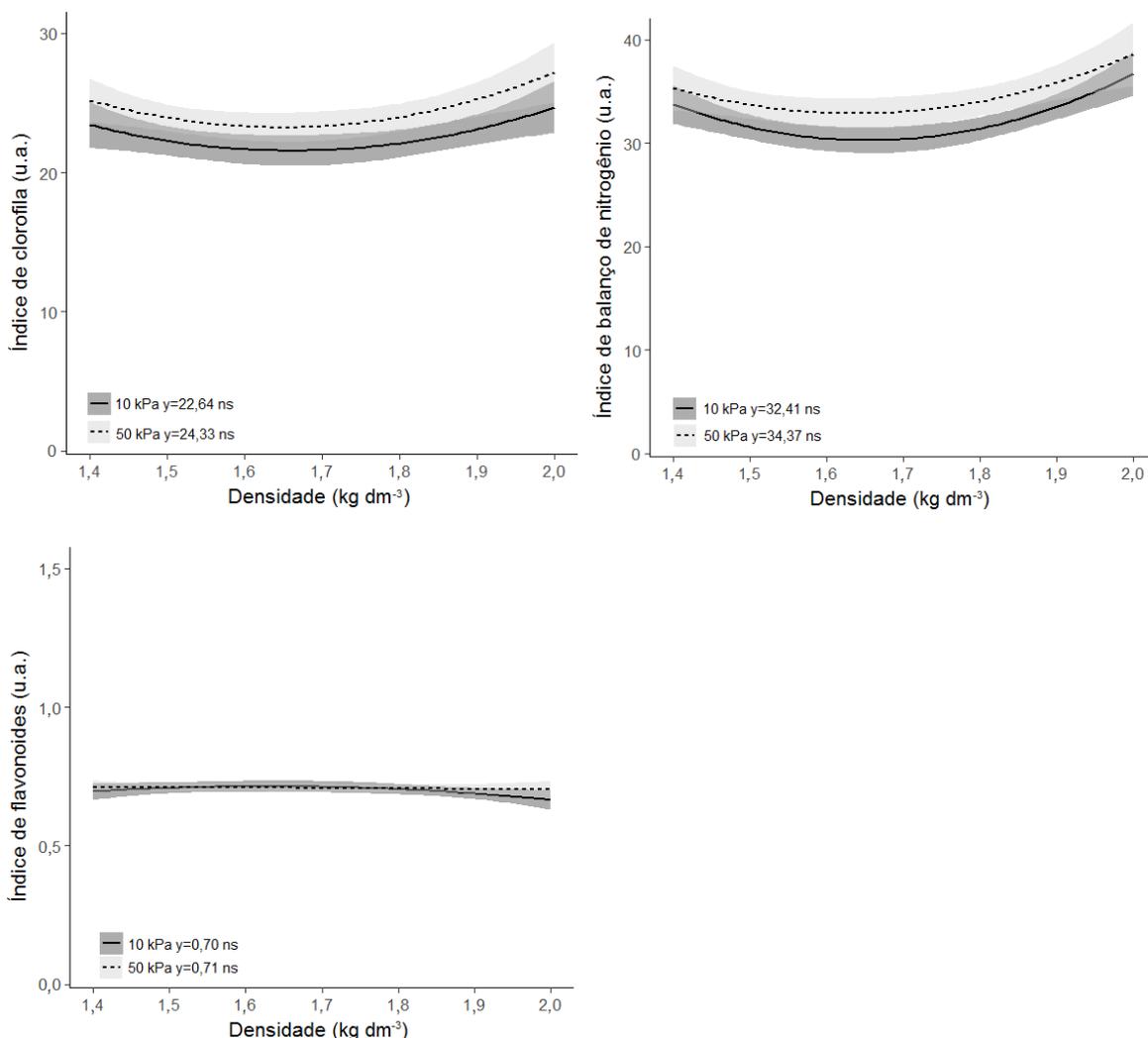


Figura 3 - Efeito da umidade e densidade do solo sobre o índice de clorofila, balanço de nitrogênio e flavonoides aos 9 dias após a emergência. Intervalos de confiança a 95% são apresentados, onde a linha contínua corresponde a tensão de 50 kPa e a linha pontilhada 10 kPa, que possuem diferença quando os intervalos não se sobrepõem. Diferenças entre os níveis de densidade são representadas pela presença da equação, $n = 56$.

Porém aos 28 DAE (figura 4) algumas diferenças puderam ser notadas. O índice de clorofila apresentou intervalos distintos entre as umidades nas densidades de 1,4 até 1,65 kg dm⁻³, de forma que os valores atingiram intervalos superiores na condição de menor disponibilidade hídrica (50 kPa). Por outro lado, para o mesmo intervalo de densidades na umidade de 10 kPa, foi observada diferença nas médias ao nível de 1% de significância, com aumento progressivo de aproximadamente 5% no índice de clorofila de 1,4 até 1,65 kg dm⁻³.

O índice de balanço de nitrogênio nas densidades 1,4 até 1,6 kg dm⁻³ apresentou intervalos distintos entre as duas umidades; para 50 kPa a média do índice de balanço de nitrogênio atingiram 24,89 u.a, valores estes superiores

comparativamente ao observado para a umidade de 10 kPa, onde a média atingiu 19,10 u.a. sendo possível observar que o índice de balanço de nitrogênio apresentou a mesma tendência de resposta que o índice de clorofila em relação aos níveis de umidade. Para os diferentes níveis de densidade do solo, as plantas não apresentaram valores distintos para o índice de balanço de nitrogênio.

O índice de flavonoides não diferiu entre os níveis de umidade e densidade do solo, porém é possível perceber que o índice de flavonoides aumentou comparativamente ao período anterior, pois aos 9 DAE apresentou médias de 0,70 u.a (10 kPa) e 0,71 u.a (50 kPa) (figura 3), enquanto que aos 28 DAE essa média foi de 1,20 u.a (10 kPa) e 1,11 u.a (50 kPa) (figura 4).

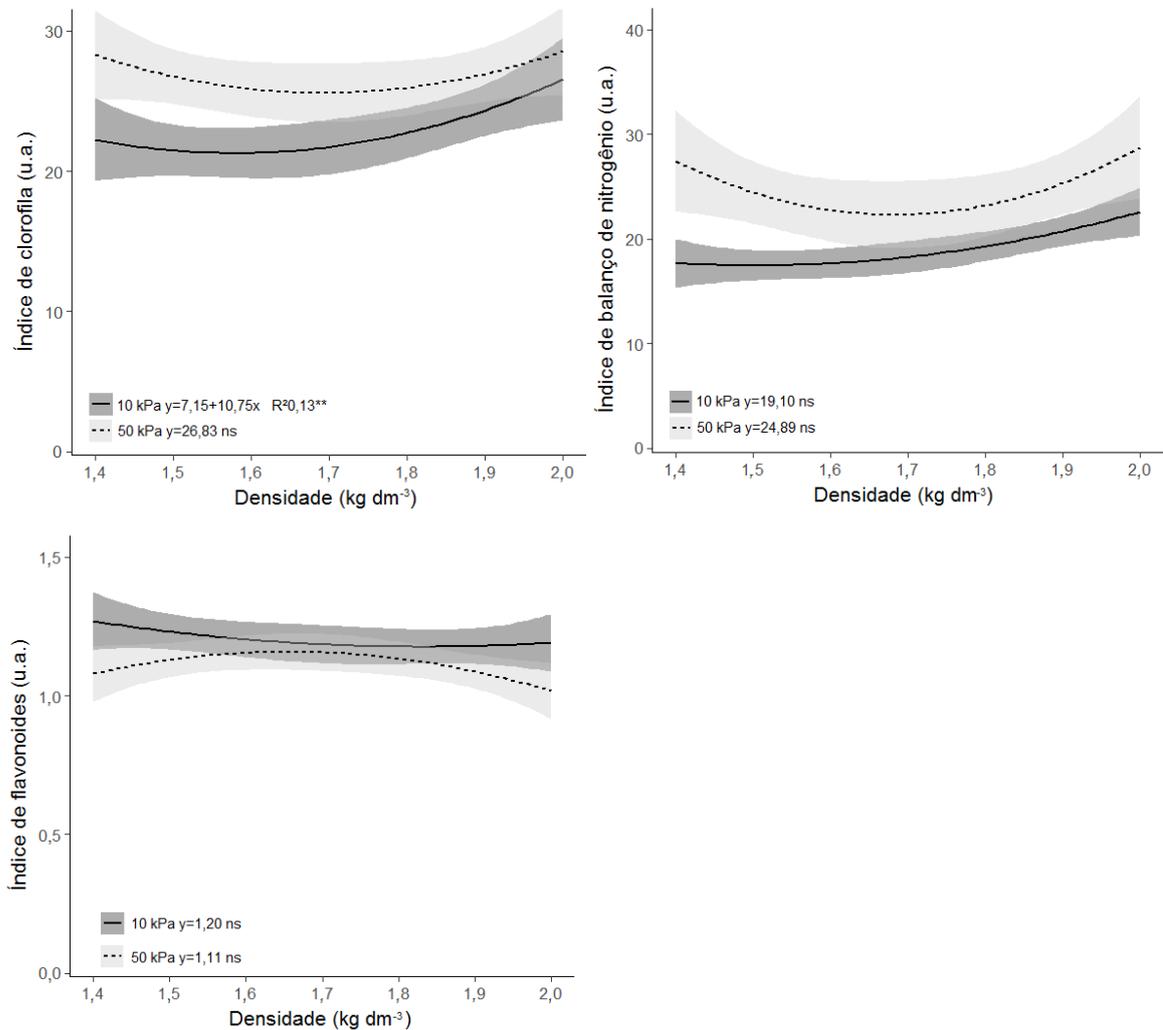


Figura 4 – Efeito da umidade e densidade do solo sobre o índice de clorofila, balanço de nitrogênio e flavonoides aos 28 dias após a emergência. Intervalos de confiança a 95% são apresentados, onde a linha contínua corresponde a tensão de 50 kPa e a linha pontilhada 10 kPa, que possuem diferença quando os intervalos não se sobrepõem. Diferenças entre os níveis de densidade são representadas pela presença da equação, n= 56

Para o experimento a campo, as avaliações dos teores de clorofila, balanço de nitrogênio, flavonoides e eficiência quântica máxima do fotossistema II, foram realizadas de acordo com as condições de disponibilidade hídrica para a cultura. A primeira avaliação foi realizada em 12 de janeiro (27 DAE), quando a área encontrava-se com excesso hídrico; como é possível observar na figura 5, a média de precipitação no início do mês foi alta e as plantas foram afetadas pela condição de baixa permeabilidade do solo. Contudo, em 26 de janeiro (41 DAE), a condição hídrica já estava mais adequada, sendo assim realizada a segunda avaliação.

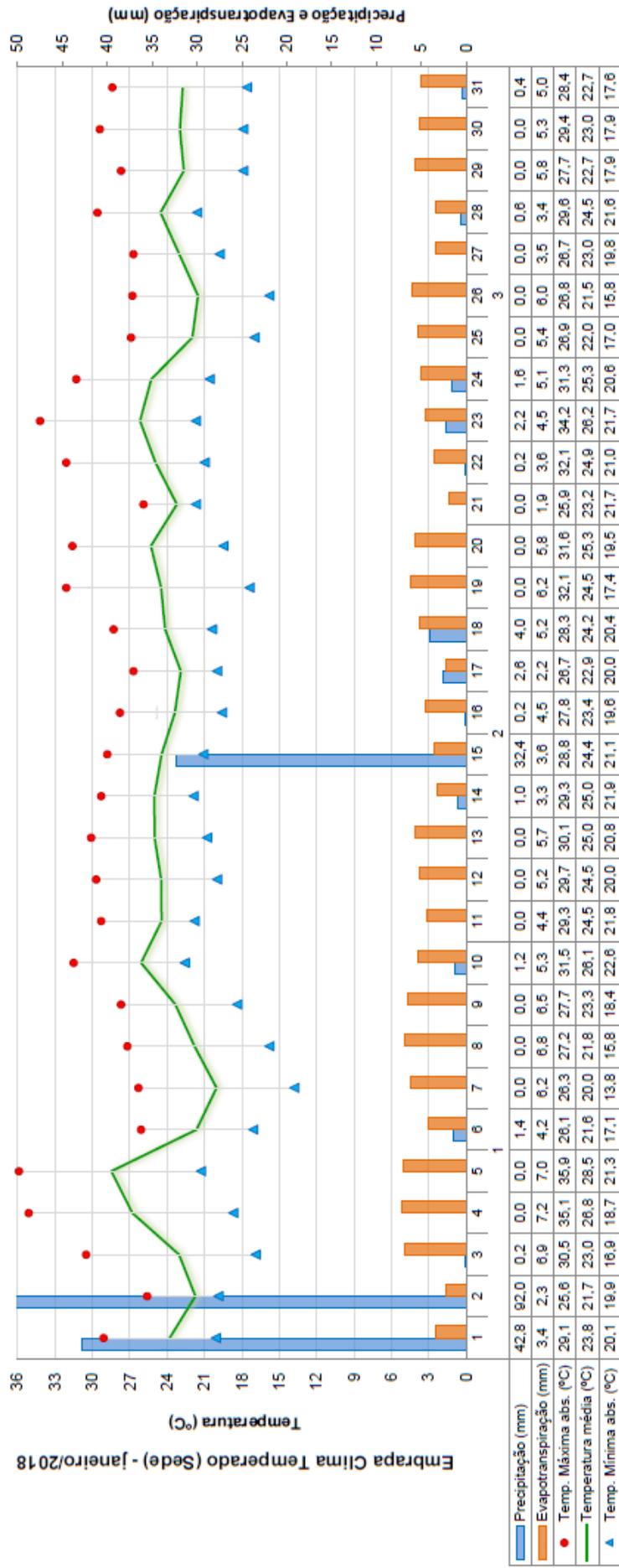


Figura 5 – Médias de precipitação e temperatura no mês de janeiro de 2018. Fonte: Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado.

A terceira avaliação foi realizada no dia 15 de fevereiro (61 DAE), período em que as plantas não dispunham de água o suficiente (figura 6). Ocorreram dois períodos de chuva mais significativos no espaço de tempo entre a avaliação 2 e 3, com cerca de 40 mm de chuva em 20 dias, que associados a um período de alta demanda hídrica das plantas, resultou em estresse por seca.

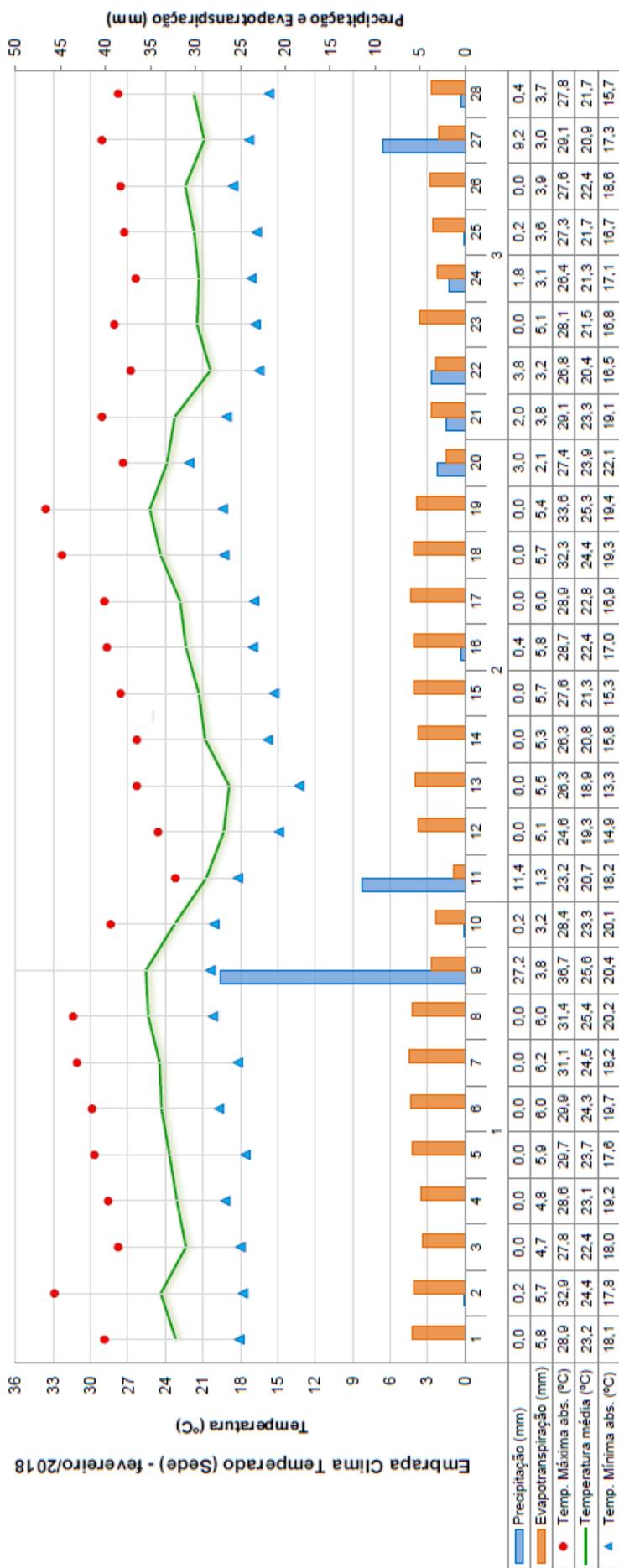


Figura 6 – Médias de precipitação e temperatura no mês de fevereiro de 2018. Fonte: Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Clima Temperado.

Para o índice de clorofila aos 27 DAE, foi possível observar que o tratamento com camalhão escarificado atingiu o maior intervalo, com valores entre 25 – 30 u.a, distinguindo-se do T2 e T3, sendo que para as plantas submetidas somente ao manejo de escarificação, o maior valor foi de 24, e para o manejo de camalhão a maior média do intervalo foi 25, diferentemente do T4 que apresentou comportamento semelhante aos demais, com o intervalo das médias sobrepostas aos demais (figura 3).

O comportamento do índice de balanço de nitrogênio foi semelhante para todos os manejos testados (figura 3). Para o índice de flavonoides, o tratamento sob cultivo de camalhão com escarificação (T1) apresentou resultado mais satisfatório do que o plantio convencional (T4), diferente do T3 (plantio em camalhão) e T2 (plantio sob solo escarificado) que apresentaram intervalos sobrepostos, indicando respostas semelhantes entre os tratamentos (figura 5). A eficiência quântica máxima do fotossistema II, não apresentou distinção entre os intervalos, logo a resposta a esse fator não surtiu efeito conforme o tratamento (figura 3).

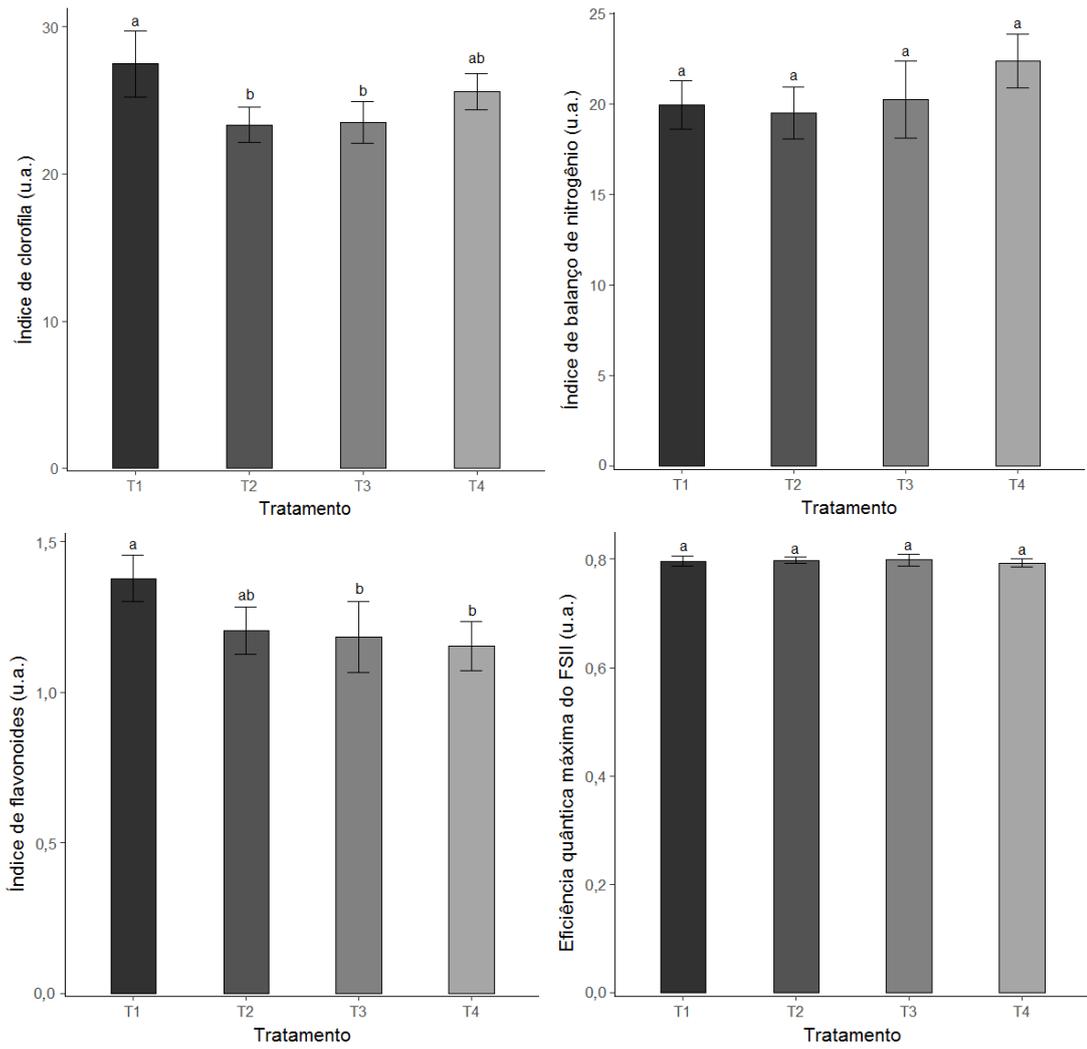


Figura 7 – Efeito dos diferentes manejos de solo sobre o índice de clorofila (Chl), balanço de nitrogênio (NBI) flavonoides (Flv) e eficiência quântica máxima do FSII, aos 27 dias após a emergência. Onde: T1 – Escarificado com plantio no sistema sulco-camalhão; T2 – Escarificado com plantio convencional; T3 – Não escarificado sobre sulco-camalhão; e T4 – Não escarificado com plantio convencional. Intervalos de confiança a 95% são apresentados. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Aos 41 DAE nenhuma das variáveis analisadas apresentaram distinção entre os intervalos, para as variáveis analisadas (figura 8).

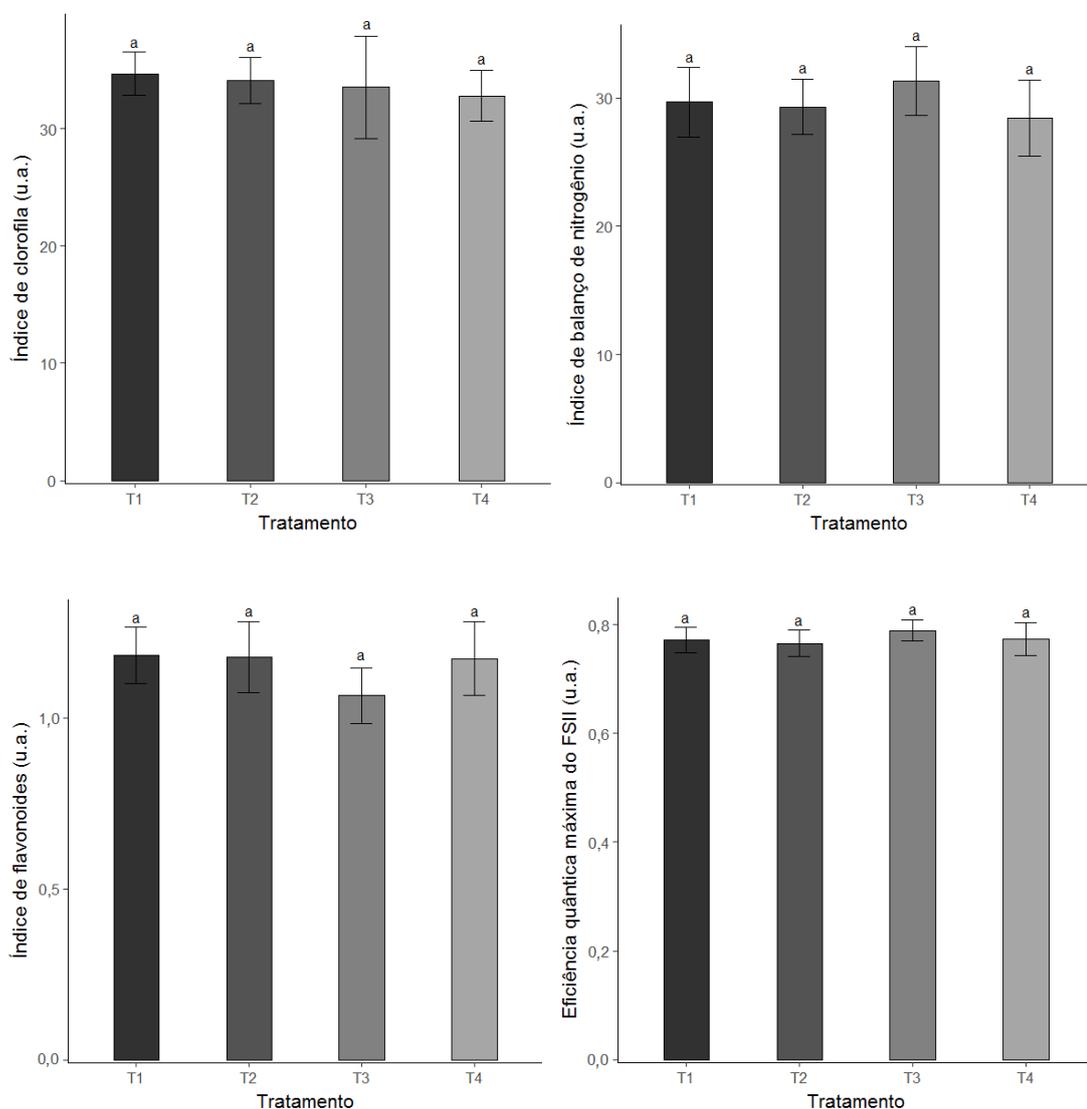


Figura 8 – Efeito dos diferentes manejos de solo sobre o índice de clorofila (Chl), balanço de nitrogênio (NBI) flavonoides (Flv) e eficiência quântica máxima do FSII, aos 41 dias após a emergência. Onde: T1 – Escarificado com plantio no sistema sulco-camalhão; T2 – Escarificado com plantio convencional; T3 – Não escarificado sobre sulco-camalhão; e T4 – Não escarificado com plantio convencional. Intervalos de confiança a 95% são apresentados. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

No 3º período avaliado, 61 DAE, o índice de clorofila foi semelhante entre tratamentos. Porém, as plantas sob camalhão escarificado (T1) apresentaram resposta de 12 a 44% inferior comparativamente ao convencional – T4 (figura 9).

As plantas submetidas ao solo escarificado e plantio sob sulco-camalhão (T1) apresentaram índice de flavonoides em torno de 20 % maior do que as plantas

submetidas ao manejo convencional (T4). O T2 (somente escarificação) e T3 (somente camalhão) não se diferenciaram dos demais.

Para o índice de balanço de nitrogênio e eficiência quântica máxima do fotossistema II, os tratamentos não apresentaram distinção.

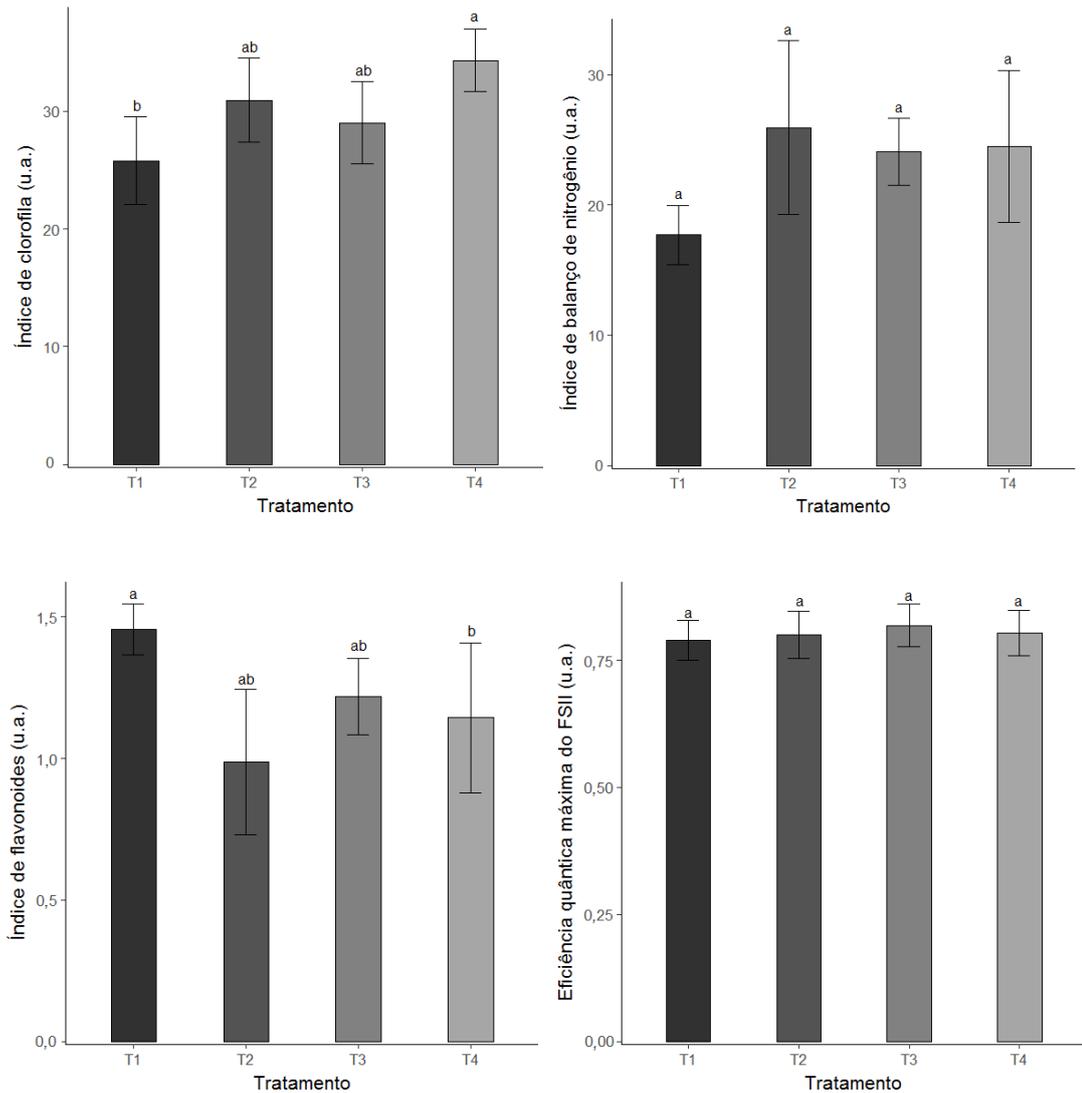


Figura 9 – Efeito dos diferentes manejos de solo sobre o índice de clorofila (Chl), balanço de nitrogênio (NBI) flavonoides (Flv) e eficiência quântica máxima do FSII, aos 61 dias após a emergência. Onde: T1 – Escarificado com plantio no sistema sulco-camalhão; T2 – Escarificado com plantio convencional; T3 – Não escarificado sobre sulco-camalhão; e T4 – Não escarificado com plantio convencional. Intervalos de confiança a 95% são apresentados. Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Para a massa seca de folhas, o incremento de massa ocorreu até próximo aos 120 dias após a emergência, de forma que o T1 (camlhão escarificado) obteve resultados mais satisfatórios, apresentando intervalos superiores dos 70 aos 100

DAE. Aos 100 DAE, conforme observado nos intervalos de confiança, todos os tratamentos obtiveram valores distintos, para T1 o valor foi de 46,6 g planta⁻¹, para T2 foi de 33,4 g, enquanto que para o T3 e T4 a massa obtida foi de 38,96 g e 31,75 g respectivamente (figura 10).

A massa seca de colmos foi semelhante para todos os tratamentos até os 95 DAE, sendo que posteriormente a este período as plantas do sistema convencional (T4) apresentaram valor inferior de aproximadamente 40%, 22% e 60%, para os tratamentos 1, 2 e 3, respectivamente, até o final das avaliações.

Para as avaliações da massa seca total da parte aérea, as plantas submetidas a escarificação e sulco- camalhão (T1) apresentaram massa seca total superior aos demais tratamentos a partir dos 60 até os 100 dias após a emergência. Porém após os 115 dias, já no final do ciclo da cultura os valores do T3 (somente sulco camalhão) se igualaram aos do tratamento escarificado sob sulco-camalhão (T1). O valor final do acúmulo de massa seca total para o T3 foi de 72,25 g planta⁻¹, para o T1 foi 68,06 g planta⁻¹, enquanto que para o T2 (solo escarificado) os valores obtidos foram de 58,71 g planta⁻¹ e para o T4 (convencional sem sulco-camalhão) foram 53,20 g planta⁻¹.

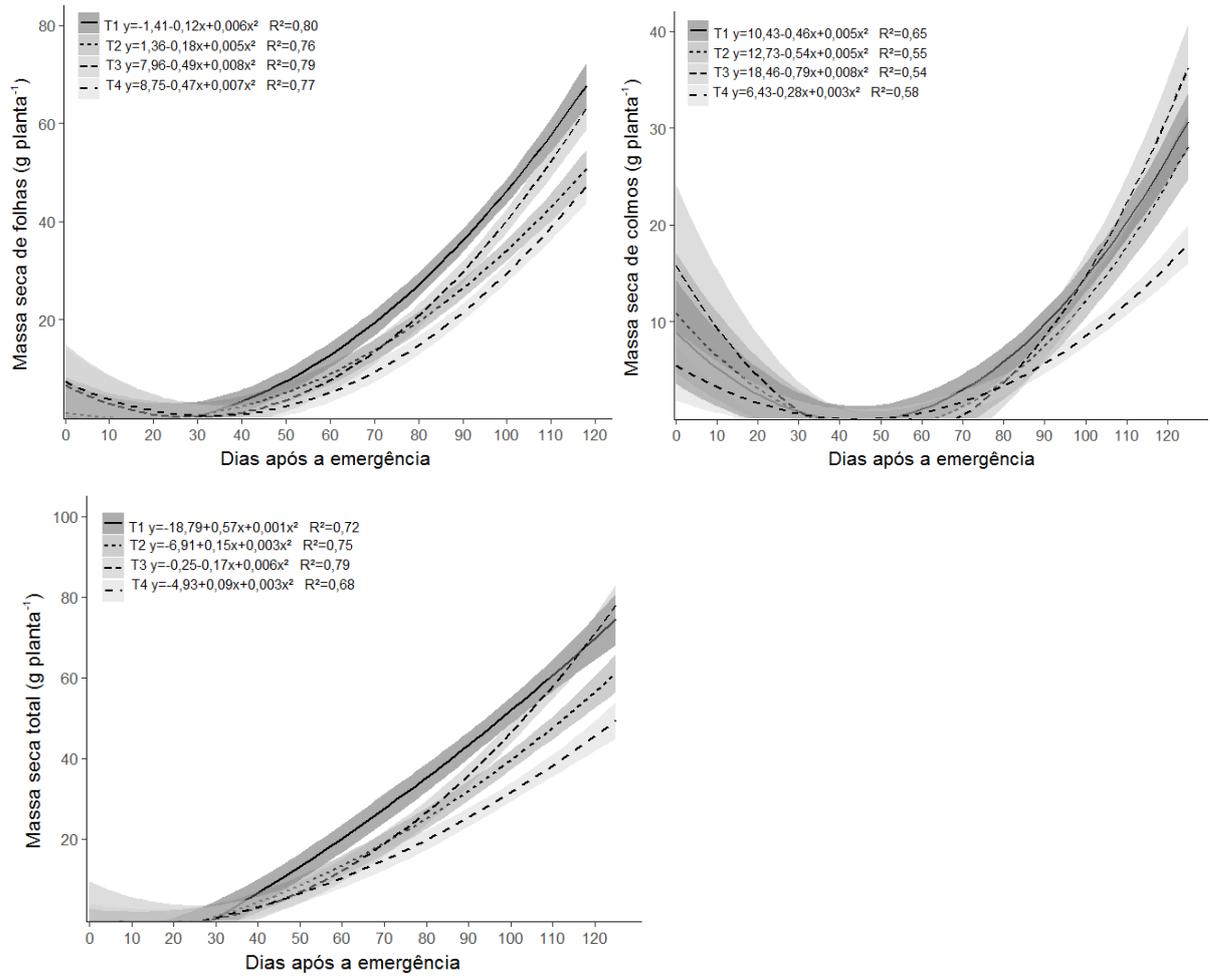


Figura 10 - Massa seca de folhas, colmos e total correspondente a cada tratamento, sendo T1 – Escarificado com plantio no sistema sulco-camalhão; T2 – Escarificado com plantio convencional; T3 – Não escarificado sobre sulco-camalhão; e T4 – Não escarificado com plantio convencional. Intervalos de confiança a 95% são apresentados, a diferença entre os tratamentos ocorre quando os intervalos não se sobrepõem.

A área foliar das plantas do sistema escarificado no plantio em sulco-camalhão (T1) foi superior aos demais tratamentos entre os 50 e 110 DAE, atingindo valores máximos de $2600 \text{ cm}^2 \text{ planta}^{-1}$ no período de 90 dias. Neste mesmo período o T2 e T3 (somente escarificado ou somente sulco-camalhão, respectivamente) apresentaram intervalos similares entre si, alcançando 1600 cm^2 para o T2 e 1900 cm^2 para o T3, enquanto as plantas submetidas ao sistema não escarificado sob plantio convencional (T4) foi o que apresentou os menores resultados, com área foliar de 1350 cm^2 (figura 11).

O índice de área foliar foi superior para os tratamentos sobre sulco-camalhão, de forma que as plantas cultivadas sob solo escarificado (T1) e sob manejo sem escarificação (T3) atingiram índice de 6 m^2 de folha por m^2 de solo ($\text{m}^2 \text{ m}^{-2}$), aos 90 dias após a emergência. Neste mesmo período para as plantas do tratamento em

que o solo recebeu somente o manejo de escarificação (T2), foi observado índice de área foliar de $4 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$, enquanto para aquelas submetidas ao sistema convencional (T4) foi de $3,6 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ (figura 11).

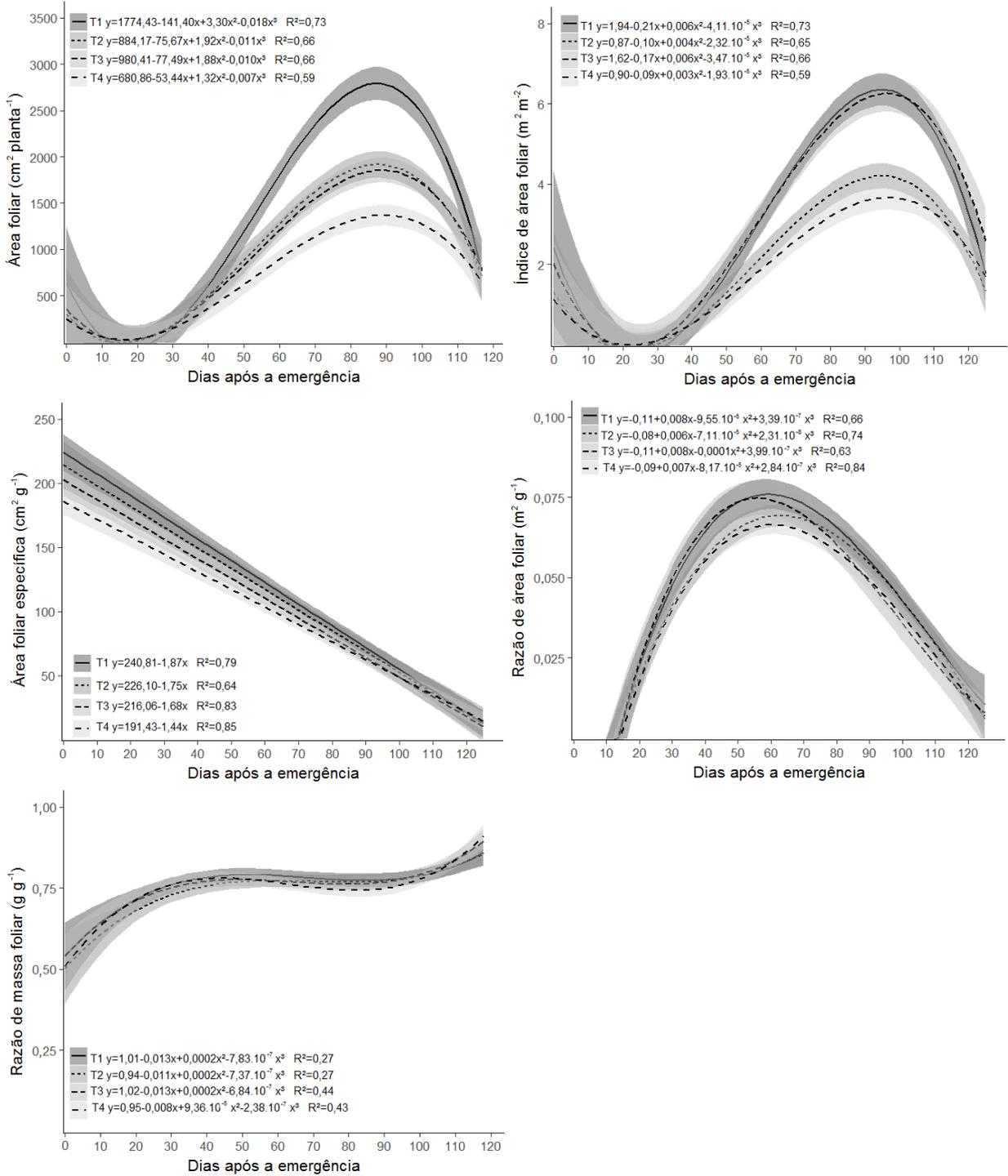


Figura 11 – Área, índice de área foliar, área foliar específica, razão de área e de massa foliar correspondente a cada tratamento, sendo T1 – Escarificado com plantio no sistema sulco-camalhão; T2 – Escarificado com plantio convencional; T3 – Não escarificado sobre sulco-camalhão; e T4 – Não escarificado com plantio convencional. Intervalos de confiança a 95% são apresentados, a diferença entre os tratamentos ocorre quando os intervalos não se sobrepõem.

Para a taxa de crescimento absoluto, durante todo o período de avaliação os intervalos se sobrepuseram, de forma a não apresentar diferença entre os tratamentos, assim como os parâmetros de taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida (figura 23), área foliar específica (figura 24), razão de área foliar (figura 25) e razão de massa foliar (figura 26).

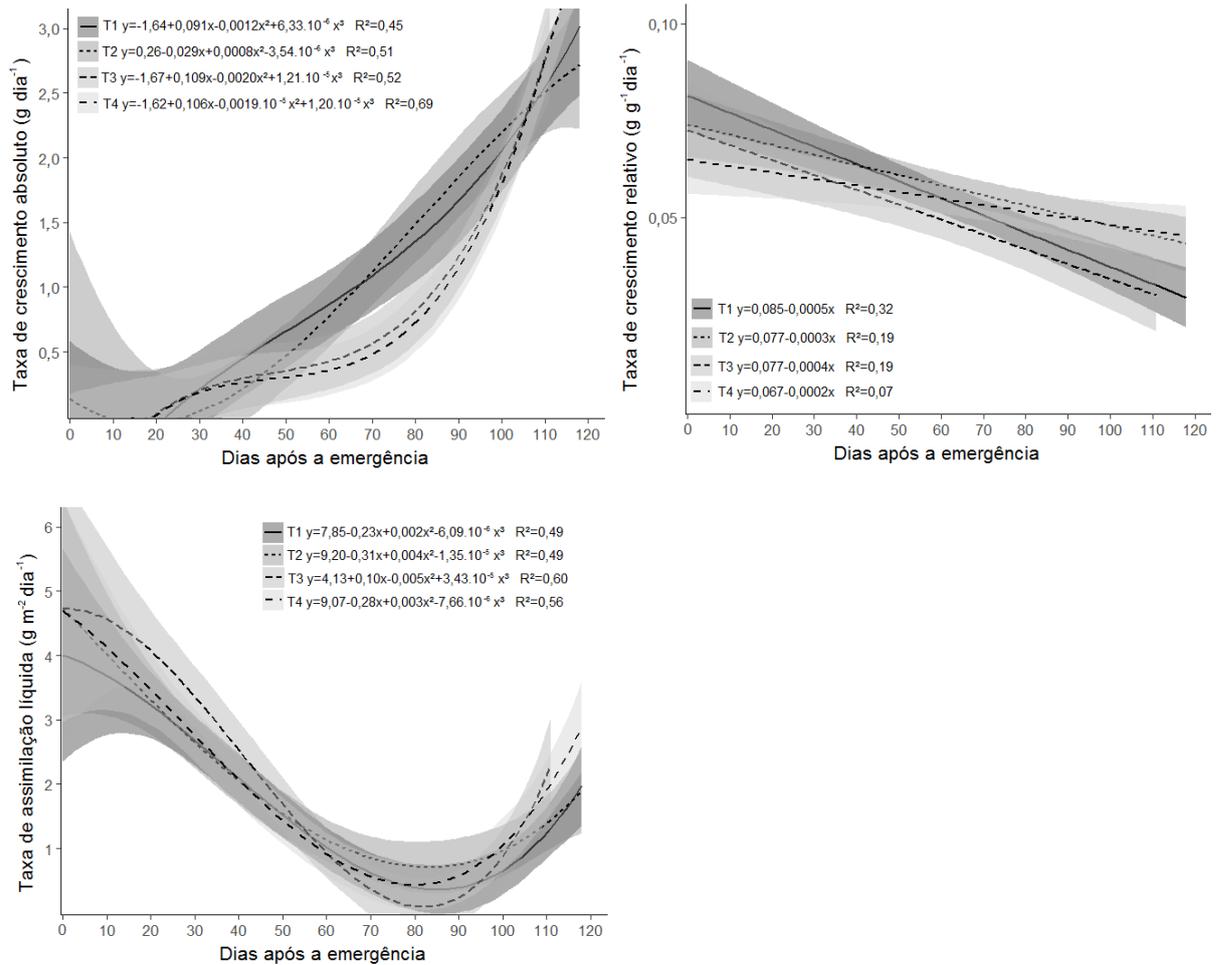


Figura 12 – Taxa de crescimento absoluto, relativo e assimilação líquida correspondente a cada tratamento, sendo T1 – Escarificado com plantio no sistema sulco-camalhão; T2 – Escarificado com plantio convencional; T3 – Não escarificado sobre sulco-camalhão; e T4 – Não escarificado com plantio convencional. Intervalos de confiança a 95% são apresentados, a diferença entre os tratamentos ocorre quando os intervalos não se sobrepõem.

DISCUSSÃO

A menor densidade do solo avaliada neste estudo ($1,4 \text{ kg dm}^{-3}$) não é observada em situações reais de campo (SARTORI et al., 2015), tendo sido obtida no tratamento pela pulverização do solo, e sua deposição nos baldes, sem nenhum tipo de compactação. Para ambos os teores de umidade do solo, aparentemente esta menor densidade, comparativamente ao usualmente observado em condições de campo, não possibilitou o adequado contato entre o solo e as raízes das plantas, uma vez que o desenvolvimento da soja na densidade do solo de $1,4 \text{ kg dm}^{-3}$ foi, em termos gerais, menor do que o obtido em densidades de $1,5 - 1,7 \text{ kg dm}^{-3}$ (figura 1).

Para a área foliar, quando a condição hídrica foi mais favorável, o tratamento com maior densidade do solo foi mais afetado ($2,0 \text{ kg dm}^{-3}$), porém na condição de menor disponibilidade hídrica, as plantas mais afetadas foram aquelas cultivadas em densidade superior à $1,8 \text{ kg dm}^{-3}$ (figura 2), demonstrando similaridade ao encontrado para a altura de plantas, pois o aumento do teor de umidade do solo auxilia no processo de crescimento das raízes devido a redução na resistência à penetração (KIRNAK et al., 2013), o que conseqüentemente atua na absorção de água e nutrientes e por sua vez, no crescimento das plantas (VALADÃO et al., 2015). Outro fator a ser considerado é que, a redução na área foliar das plantas pode ocorrer como mecanismo de defesa contra a deficiência hídrica (FERRARI et al., 2015), pois com menor área foliar, menor é a área que possibilita a perda de água por transpiração (RADIN et al., 2017).

Ao se observar os índices de balanço de nitrogênio, clorofila e flavonoides, percebe-se que na primeira avaliação realizada 9 DAE (figura 3), estes fatores ainda não haviam sido afetados. Neste mesmo período, o crescimento em altura e área foliar foram iguais entre os tratamentos, o que pode indicar que a disponibilidade hídrica em questão era suficiente para as plantas até este período, mesmo utilizando uma quantidade abaixo do recomendado (50 kPa – recomendação de irrigação).

Porém, para as mesmas análises realizadas posteriormente 28 DAE, houve comportamento distinto entre tratamentos (figuras 8, 9 e 10); no mesmo período, iniciaram-se as diferenças entre as alturas e áreas foliares das plantas nos diferentes tratamentos.

Segundo Wood et al. (1992) as clorofilas presentes no interior dos cloroplastos são pigmentos especializados na absorção de luz, utilizada no processo

fotossintético; portanto, o teor de clorofila é um fator preponderante em estudos fisiológicos. No interior dos cloroplastos encontra-se cerca de 70% do nitrogênio foliar (N), de forma que a clorofila e o conteúdo de N estão intimamente correlacionados, justificando o encontrado no segundo período de avaliação (28 DAE), onde as curvas do índice de clorofila e o índice de balanço de nitrogênio (figura 4) apresentaram tendência semelhante.

Foram observados menores balanços de nitrogênio e conteúdos de clorofila com estresse menos severo, e neste, o comportamento das densidades foi de aumento do teor de N e clorofila foliar linearmente ao aumento da densidade do solo.

O maior teor de clorofila encontrado nas plantas submetidas ao maior nível de estresse por compactação pode ser justificado como uma forma de proteção da planta, conforme relatado por Melo et al. (2018) ao submeterem plantas de feijão a diferentes lâminas de irrigação. Plantas sob menor disponibilidade de água apresentaram maiores teores de clorofila a e b, de forma que os autores chegaram a conclusão de que esse comportamento pode ser visto como um mecanismo de tolerância, onde a planta busca aumentar a concentração de clorofila na folha objetivando maior atividade fotossintética de forma a compensar a redução de área foliar ocasionada pela falta de água, fator este que ocorre a longo prazo como uma resposta de aclimatação das plantas à condição hídrica.

A água é o fator mais limitante na produção vegetal (DU et al., 2015), de forma que a ocorrência de déficit hídrico severo, pode reduzir a eficiência de utilização da radiação (GAVA et al., 2015). O preparo do solo pode influenciar na capacidade de armazenamento de água, e por consequência, influenciar no período de sobrevivência das plantas à baixa disponibilidade hídrica (DRESCHER et al., 2012). O estresse hídrico pode ser ocasionado tanto pelo excesso, quanto pelo déficit de água, afetando o crescimento e o desenvolvimento da planta, modificando sua anatomia, morfologia, bioquímica e fisiologia. Para a cultura da soja, ocorrem alterações a nível metabólico e morfológico, promovendo ajuste da planta ao ambiente adverso (FERRARI et al., 2015).

Um fator preponderante no crescimento e adaptação das plantas aos mais variados ambientes é o conteúdo de clorofila (RÊGO e POSSAMAI, 2004), assim como o índice de balanço de nitrogênio, que é obtido pela relação entre o índice de clorofila e flavonoides, por suportar inferências sobre o estado nutricional de

nitrogênio na planta (COELHO et al., 2012). Estes parâmetros foram avaliados em diferentes períodos e apresentaram comportamento semelhante entre os diferentes sistemas de manejo aplicados, tanto para a época onde ocorreu o excesso hídrico (figura 7) como para quando ocorreu o suprimento de água adequado (figura 8), corroborando com Gava et al. (2015) que concluíram que o período de excesso hídrico não representou prejuízo ao desenvolvimento inicial da soja, comparativamente ao período de déficit hídrico. Porém, quando a disponibilidade hídrica é irregular, ora excesso, ora deficiência, ocorre influência direta no rendimento das culturas, podendo representar perda anual de 47% em relação à produtividade média da soja (MANOSSO, 2005).

No 3º período de avaliação (figura 9), o T1 – camalhão escarificado, apresentou índice de clorofila inferior em comparação ao T4 – convencional, porém neste mesmo período ocorreu acréscimo significativo na área foliar das plantas do T1, se sobressaindo às demais (figura 11). É possível neste caso que as plantas que aumentaram sua área foliar não tenham incrementado o número de pigmentos na mesma proporção, visto que o índice de balanço de nitrogênio também foi inferior (comparativamente ao T3) neste período. As variáveis de crescimento como área foliar, índice de área foliar (figura 11) e massa seca de folhas (figura 10), a partir dos 60 DAE se mantiveram com resposta significativamente satisfatória para o T1, e começaram a se distinguir dos demais sistemas de manejo.

Para os flavonoides a resposta foi contrária ao observado para o NBI indicando que as plantas sob camalhão escarificado apresentaram sistema de resposta à ocorrência de indisponibilidade hídrica mais favorável do que os demais tratamentos, visto que os flavonoides possuem ação antioxidante e são necessários na mitigação de danos oxidativos, provenientes de condições de estresse (ITHAL & REDDY, 2004).

As folhas, através da fotossíntese, são responsáveis por até 90% da massa seca acumulada nas plantas (OLIVEIRA et al., 2007); portanto, medidas como de área foliar (AF) e índice de área foliar (IAF) demonstram o potencial produtivo da soja em consequência do manejo cultural a ser adotado. Neste estudo, observamos que o acúmulo de área foliar foi visivelmente superior para o sistema de sulco-camalhão onde o solo foi previamente escarificado, porém o índice de área foliar, que representa a relação entre a área foliar e a área de solo ocupada pelo cultivo

(HEIFFIG et al., 2006), foi semelhante para os tratamentos onde foram construídos camalhões, seja sobre solo escarificado ou não escarificado (figura 11).

Através desta relação pode-se observar que, mesmo que o T1 (escarificado sob sulco-camalhão) tenha apresentado aparato foliar maior (figura 15), esse fator isolado não determina necessariamente que a relação fotossintética destas plantas seja satisfatória ou superior aos demais sistemas de cultivo. O índice de área foliar garante melhor compreensão sobre a real interceptação luminosa do cultivo, aprimorando os dados obtidos através da área foliar (CONCENÇO et al., 2015).

A capacidade de interceptação solar pelas folhas garante o potencial de rendimento de determinada cultura; logo, durante o crescimento quanto mais cedo a maior parte da luz solar for interceptada pelas folhas, maior será o potencial de rendimento (HANWAY & THOMPSON, 1971). Conforme descrito por Zanon et al. (2015), através do IAF é possível determinar o rendimento máximo da cultura da soja, pois esta variável nos fornece a capacidade que as plantas possuem para interceptar radiação luminosa, e conseqüentemente acumular massa seca através da fotossíntese, corroborando com os valores encontrados de massa seca de folhas (MSF), caules (MSC) e total (MST), onde os tratamentos que possuíram maior índice de área foliar apresentaram também maior incremento de massa (figuras 17, 18 e 19).

A massa seca foliar apresentou resultados superiores aos 100 – 110 dias após a emergência, sendo maior para os tratamento com camalhão escarificado (T1) até os 90 DAE, e posteriormente até o final do ciclo da cultura, o T3 (somente camalhão) apresentou resultado similar ao T1 (figura 10) apoiando os resultados encontrados para o índice de área foliar.

A massa seca total de plantas pode indicar maior capacidade da assimilação líquida de CO₂, visto que através da atividade fotossintética a planta produz esqueletos carbônicos. Estes são necessários para a formação de outros compostos vitais para as plantas, de forma que 90% do peso seco das plantas provem diretamente da assimilação fotossintética do carbono (COSTA et al., 2016). Isso reforça o observado no IAF (figura 11) indicando que a melhor interceptação luminosa pelo dossel das plantas garantiu o melhor acúmulo de matéria seca.

Ressalta-se, no entanto, que os tratamentos com plantio sobre sulco-camalhão (T1 e T3) foram os que mais acumularam massa seca nas folhas, assim como melhor acúmulo de massa seca em colmos (figura 10), o que indica que nestes

tratamentos, as plantas de soja provavelmente encontraram melhores condições edáficas e de manejo para a promoção do crescimento da cultura. Porém ao observar a massa seca total, provavelmente as plantas no T1 se desenvolveram mais rápido, finalizando o ciclo antes e conseqüentemente iniciando mais cedo o abortamento das folhas mais velhas rumo a maturação das sementes e senescência da planta.

Monteith (1972) salienta que a taxa de crescimento de uma espécie pode ser expressa de acordo com a quantidade de energia luminosa incidente, da interceptação e conversão dessa energia em massa seca. Desta forma, os parâmetros com base mais direta no incremento de matéria seca são a taxa de crescimento absoluto (TCA) e a taxa de crescimento relativo (TCR), normalmente utilizadas em conjunto, expressando o acúmulo de massa seca por unidade de tempo, em função da massa seca inicial no período.

A TCA é a variação ou incremento do crescimento em gramas por semana, podendo ser utilizada para inferências sobre a velocidade média de crescimento ao longo do período de observação (BENINCASA, 2003). A TCR, por outro lado, inicia em seu ponto máximo logo após a emergência, reduzindo gradativamente, com tendência de estabilização no início da maturação da planta (AGUIAR-NETTO et al., 2000).

A taxa de assimilação líquida (TAL) reflete a dimensão do sistema assimilador que está envolvido na produção de massa seca, sendo uma estimativa da fotossíntese líquida da planta por área foliar e pode apresentar valores positivos ou negativos, em função das condições às quais a planta é submetida (OLIVEIRA et al., 2006).

A área foliar específica (AFE) avalia a espessura da lâmina foliar de determinado vegetal (FERREIRA et al., 2008). A disponibilidade de radiação é o principal fator determinante da AFE; Gurevitch et al. (2009) indicam que plantas que crescem em ambiente com alta luminosidade tendem a apresentar o limbo foliar mais espesso (menor AFE) comparativamente a plantas sob níveis considerados adequados à espécie, porém quando plantas são excessivamente sombreadas, o limbo foliar tende a ser menos espesso, buscando aproveitar a radiação disponível.

A razão de área foliar (RAF) representa a relação entre a área foliar e o peso seco correspondente, enquanto a razão de massa foliar (RMF) representa a relação entre a biomassa seca das folhas e a biomassa seca total da planta (TIRONI et al.,

2009) sendo utilizadas para avaliação dos efeitos genotípicos, climáticos e do manejo das comunidades vegetais (OLIVEIRA et al., 2006).

CONCLUSÃO

A densidade do solo não é limitante ao desenvolvimento da planta quando a disponibilidade de água é adequada. Para a condição de menor disponibilidade de água, plantas cultivadas em solos com densidade entre 1,6 e 1,8 kg dm⁻³ apresentam desempenho mais satisfatório, comparativamente as cultivadas em densidades do solo mais baixas ou mais altas. A disponibilidade de água tende a ser o fator mais limitante no crescimento e desenvolvimento vegetal, e seu déficit pode estar associado a densidades extremas do solo na área de cultivo.

O desempenho fisiológico das plantas de soja é dependente do ambiente de cultivo e as condições impostas por estes influenciam em fatores como área, índice e duração foliar, assim como provavelmente na taxa de assimilação líquida, que são influenciados pelos níveis adequados de aeração e umidade no solo, o que é um desafio em Terras Baixas devido às características físicas do solo.

Fisiologicamente, em solos de Terras Baixas, a prática do sulco-camalhão é mais significativa do que a prática de escarificação do solo, manejo este que permite a irrigação da lavoura, compensando em parte os efeitos deletérios de solos levemente compactados. No entanto, ambas práticas, quando aplicadas conjuntamente, promovem os maiores benefícios à fisiologia da soja em Terras Baixas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDALLAH, F. B.; GOFFART, J. P. **Potential indicators based on leaf flavonoids content for the evaluation of potato crop nitrogen status.** in: 11th ICPA Indianapolis Mi USA: pp. 1-18 **(Mx)** 2012.
- ANDRIANASOLO, F. N.; DEBAEKE, P.; CHAMPOLIVIER, L.; MAURY, P. Analysis and modelling of the factors controlling seed oil concentration in sunflower: a review. **Oilseeds & fats Crops and Lipids.** v. 23, n. 2, p 1–12. 2016
- ANDRADE, Cínthia Aparecida. **O papel do peróxido de hidrogênio na tolerância de soja (*Glycine max*) ao alagamento.** 2013. 59 f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.
- AKPINAR, B. A.; LUCAS, S. J.; BUDAK, H. Genomics approaches for crop improvement against abiotic stress. **Sci. World J.** 2013.
- ASPIAZÚ, I.; CONCENÇO, G.; GALON, L.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F. Relação colmos/folhas de biótipos de capim-arroz em condição de competição. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas,** v. 1, n. 2, p. 22–30, 2008.
- AZEVEDO, R. A. et al. Response of antioxidant enzymes to transfer from elevated carbon dioxide to air and ozone fumigation, in the leaves and roots of wild-type and a catalase-deficient mutant of barley. **Physiologia Plantarum,** v.104, p.280-292, 1998.
- BEN AHMED, C. H.; BEN ROUINA, B.; SENSOY, S.; BOUKHRIS, M.; BEN ABDALLAH, F. Changes in gas Exchange, proline accumulation and antioxidative enzyme activities in three olive cultivars contrasting water availability regimes. **Environmental and Experimental Botany,** Elmsford, v. 67, n. 2, p. 345–352, 2009.
- BENJAMIN, L. R. Growth Analysis, Crops. **Encyclopedia of Applied Plant Sciences,** United Kingdom, v. 3, n. 2, p. 23–28, 2017.
- BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas:** noções básicas. Jaboticabal: Funep, 2003. 41p.
- BLAINSKI, E.; TORMENA, C. A.; FIDALSKI, J.; GUIMARÃES, R. M. L. Quantificação da degradação física do solo por meio da curva de resistência do solo a penetração. **Revista Brasileira de Ciência do Solo,** Viçosa, v.32, p.975–983, 2008.
- BRADFORD, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. **Analytical Biochemistry,** v.72, p.248-254, 1976.
- BRUNS, H. A. Comparisons of single-row and twin-row soybean production in the Mid-South. **Agronomy Journal,** vol. 103, n. 3, p. 702–708, 2011.

CHAVARRIA, G.; DURIGON, M. R.; KLEIN, V. A.; KLEBER, H. Restrição fotossintética de plantas de soja sob variação de disponibilidade hídrica. **Ciência Rural**, v. 45, n. 8, p. 1387–1393, ago. 2015.

CLEVELAND, W. S.; DEVLIN, S. J. An approach to regression analysis by local fitting. **Journal of the American Statistical Association**, v. 83, n. 403, p. 596–610, 1988.

COELHO, F. S.; FONTES, P. C. R.; FINGER, F. L.; CECON, P. R. Avaliação do estado nutricional do nitrogênio em batateira por meio de polifenóis e clorofila na folha. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 584–592, abr. 2012.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento: Acompanhamento da safra brasileira de grãos. v. 6., n. 3, safra 2018/19: Terceiro levantamento, dez. de 2018.

CONCENÇO, G.; ANDRES, A.; SCHREIBER, F.; SCHERNER, A.; BEHENCK, J. P. Statistical approaches in weed research: choosing wisely. **Revista Brasileira de Herbicidas**, v. 17, n. 1, p. 45–58, 2018.

CONCENÇO, G. STAUT, L. A.; CORREIA, I. V. T.; VIEIRA, L. C. Y.; SILVA, C. J. da. Crescimento de crambe na presença ou ausência de competição interespecífica. **Revista Ceres**, v. 62, n. 5, p. 460–468, 2015.

COSTA, J. A. **Cultura da Soja**. Porto Alegre: Evangraf, 1996. 233p.

DRESCHER, M. S.; ELTZ, F. L. F.; DENARDIN, J. E.; FAGANELLO, A.; DRESCHER, G. L. Resistência à penetração e rendimento da soja após intervenção mecânica em latossolo vermelho sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.36, n.6, p.1836–1844, 2012.

DU, T. S.; KANG, S. Z.; ZHANG, J. H.; DAVIES, W. J. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 8, p. 2253–2269, 2015.

EMBRAPA. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**: Laboratório de Agrometeorologia. Disponível em: <<http://agromet.cpact.embrapa.br/>>. Acesso em: 15 de jan. de 2019.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos**: Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2 ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 286 p.

EMBRAPA. **Visão 2030**: o futuro da agricultura brasileira. Brasília: Embrapa, 2018. 212 p.

EMYGDIO, B. M.; ROSA, A. P. S. A.; SILVA, J. J. C. Cultivo de milho em terras baixas: cultivares BT x convencional. **Revista SEEDnews**, Pelotas, v. XIX, n. 4, p. 24–25, 2015.

FAO. **Organização das nações unidas para Agricultura e Alimentação:** Relatórios. Disponível em: <www.fao.org.br/relatóriosFao.asp>. Acesso em: 10 de jan. de 2019.

FABRIS, S. R.; FABRIS J. P.; DULLIUS, A. I dos S. Análise da produção da cultura do soja no Brasil através dos modelos acima. **Revista Geintec**, São Cristóvão, v. 1, n. 2, p. 49–56, 2011.

FERRARI, E.; PAZ, A. da; SILVA, A. C. da. Déficit hídrico no metabolismo da soja em semeaduras antecipadas no Mato Grosso. **Nativa: Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 3, n. 1, p. 67–77, 2015.

FERREIRA, E. A.; CONCENÇO, G.; ASPIAZU, I.; SILVA, A. A.; GALON, L.; SILVA, A. F.; FERREIRA, F. A.; NOLDIN, J. A. Crescimento de biótipos de capim-arroz em condição de competição. *Planta Daninha*, Viçosa, v. 26, n. 4, p. 799–805, 2008.

FISS, G.; SCHUCH, L. O. B.; PESKE, S. T.; CASTELLANOS, C. I. S.; MENEGHELLO, G. E.; AUMONDE, T. Z. Produtividade e características agrônômicas da soja em função de falhas na semeadura. **Revista de Ciências Agrárias: Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 61, 2018.

FELISBERTO, Guilherme. **Caracterização de respostas morfológicas e fisiológicas de plantas de soja submetidas a estresse hídrico**. 2015. 90 f. Dissertação (Mestre em Ciências) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade Federal de São Paulo, Piracicaba, 2015.

GALLÉ, A.; HALDIMANN, P.; FELLER, U. Photosynthetic performance and water relations in young pubescent oak (*Quercus pubescens*) trees during drought stress and recovery. **New Phytol**, v. 174, n. 54, p. 799–810, 2007.

GARDNER, P. F.; PEARCE, R. B.; MITCHELL, R. L. **Physiology of crop plants**. Iowa: Iowa State University Press. 1985, 337 p.

GAVA, R.; FRIZZONE, J. A.; SNYDER, R. L.; JOSE, J. V.; FRAGA JUNIOR, E. F.; PERBONI, A. Estresse hídrico em diferentes fases da cultura da soja. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v.9, n. 6, p. 349–359, 2015.

GIANNOPOLITIS, C. N.; RIES, S.K. Superoxide dismutase. I. Occurrence in higher plants. **Plant Physiology**, v.59, p.309-314, 1977.

GONÇALVES, João Guilherme Ribeiro. **Identificação de linhagens de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) tolerantes à seca**. 2013. 82 f. Tese (Doutorado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Instituto agrônômico de Campinas, Campinas, 2013.

GOSA, S. C.; LUPO, Y.; MOSHELION, M. Quantitative and comparative analysis of whole-plant performance for functional physiological traits phenotyping: New tools to support pre-breeding and plant stress physiology studies. **Plant Science**, 2018. 30 p.

GUBIANI, P. I.; MÜLLER, E. A.; SOMAVILLA, A.; ZWIRTES, A. L.; MULAZZANI, R. P.; MARCHESAN, E. Transpiration reduction factor and soybean yield in low land soil with ridge and chiseling. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018.

HE, F. J.; CHEN, J. Q. Consumption of soybean, soy foods, soy isoflavones and breast cancer incidence: differences between Chinese women and women in Western countries and possible mechanisms. **Food Science and Human Wellness**, v. 2, n. 3–4, p. 146–161, 2013.

HEIFFIG, L. S., CÂMARA, G. M. S., MARQUES, L. A., PEDROSO, D. B., & PIEDADE, S. M. S. Fechamento e índice de área foliar da cultura da soja em diferentes arranjos espaciais. **Bragantia**, Campinas, v. 65, n. 2, p. 285–295, 2006.

HUNT, R. **Growth Analysis, Individual Plants**. University of Sheffield, Sheffield, UK, 2017.

IRGA. **Instituto Rio Grandense do Arroz**. Levantamento de área semeada com soja em terras baixas no Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Irga, 2016. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/upload/20160819164909soja_safra_2015_2016.pdf>. Acesso em: 15 de dez. de 2016.

ITHAL, N.; REDDY, A. R. Rice flavonoid pathway genes, OsDfr and OsAns, are induced by dehydration, high salt and ABA, and contain stress responsive promoter elements that interact with the transcription activator, OsC1-MYB. **Plant science**, v. 166, n. 6, p. 1505–1513, 2004.

JACOMINE, P. K. T. A nova classificação Brasileira de solos. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agrônômica**, Recife, v. 6, p. 161–179, 2009.

JALEEL, C. A.; RIADH, K.; GOPI, R.; MANIVANNAN, P.; INES, J.; AL-JUBURI, H. J.; CHANG-XING, Z.; HONG-BO, S.; PANNEERSELVAM, R. Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Acta Physiology Plant*, Poznan, v. 31, n. 3, p. 427–436, 2009

KIRNAK, H.; DOGAN, E.; ÇOPUR, O.; GOKALP, Z. Irrigation and yield parameters of soybean as effected by irrigation management, soil compaction and nitrogen fertilization. **Journal of Agricultural Sciences**, v.19, n. 4, p. 297–309, 2013.

KLEIN, V. A. **Física do solo**. 2. ed. Passo Fundo: Universidade de Passo Fundo, 2012. 240 p.

MANOSSO, F. C. A produtividade de soja, trigo e milho e suas relações com a precipitação pluviométrica no município de Apucarana-PR no período de 1968 a 2002. **Geografia**, Londrina, v.14, n.1, p. 87–98, jan./jun. 2005.

MARCHESAN, E. Desafios e perspectivas de rotação com soja em área de arroz. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria. **Anais...** Sociedade Sul-Brasileira de Arroz Irrigado. 2013, p. 1628–1637.

MEDRANO, H.; ESCALONA, J. M.; BOTA, J.; GULÍAS, J.; FLEXAS, J. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of Botany**, v. 89, n. 7, p. 895–905, 2002

MENEZES, V. G.; MARIOT, C. H. P.; KALSING, A.; GOULART, I. C. G. R. Arroz-vermelho (*Oriza sativa*) resistente aos herbicidas imidazolinonas. **Planta daninha**, Viçosa, v. 27, n. spe, p. 1047–1052, dez. 2009.

MISSÃO, M. R. Soja: origem, classificação, utilização e uma visão abrangente do mercado. **Maringá Management**, v. 3, n. 1, p. 7–15, jan./jun. 2006.

MITTLER, R. ROS are good. **Trends in plant science**, v. 22, n. 1, p. 11-19, 2017.

NAKANO, Y.; ASADA, K. hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in spinach chloroplasts. **Plant Cell Physiology**, v.22, n.5, p.867-880, 1981.

NUNES, J. L. S. 2016. **Características da Soja**. Disponível em: <https://www.agrolink.com.br/culturas/soja/informacoes/caracteristicas_361509.html> . Acessado em: 20 de dez. de 2018.

OLIVEIRA, L. M.; PAIVA, R.; ALVARENGA, A. A.; NOGUEIRA, R. C. Análise do crescimento. In: PAIVA, R.; OLIVEIRA, L. M. (Eds.) *Fisiologia e produção vegetal*. Lavras: UFLA, 2006. p. 93–104.

PIFFER, C. R.; BENEZ, S. H.; BERTOLINI, E. V.; COMINETTI, F. R.; SILVA, P. R. A. Crescimento radicular de três espécies de cobertura vegetal em camadas de solo compactadas artificialmente. **Revista Varia Scientia Agrárias**, v. 1, n. 1, p. 31–43, 2010.

R Core Team (2017). **R: a language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing; Available from: <http://www.R-project.org/>.

RADIN, B.; SCHÖNHOFEN, A.; TAZZO, I. F. Impacto da quantidade e frequência de chuva no rendimento da soja. **Agrometeoros**, Passo Fundo, v. 25, n. 1, p. 19–26, 2017.

RÊGO, G. M.; POSSAMAI, E. **Avaliação dos teores de clorofila no crescimento de mudas de Jequitibá-Rosa (*Cariniana legalis*)**: Comunicado Técnico 128, Colombo: Embrapa Florestas, 2004, 2 p.

RICHTER, G. L.; ZANON JÚNIOR, A.; STRECK, N. A.; GUEDES, J. V. C.; KRAULICH, B.; ROCHA, T. S. M.; WINCK, J. E. M.; CERA, J. C. Estimativa da área de folhas de cultivares antigas e modernas de soja por método não destrutivo. **Bragantia**, v. 73, n. 4, p. 416–425, 2014.

ROCHA, T. S. M. da; STRECK, N. A.; ZANON, A. J.; MARCOLIN, E.; PETRY, M. T.; TAGLIAPIETRA, E. L.; BARLEST, D.; BEXARIA, K. P. Desempenho da soja

cultivada em solo hidromórfico e não hidromórfico com ou sem irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 52, n. 5, p. 293–302, 2017.

ROLDÁN A.; DIÁZ-VIVANCOS P.; HERNÁNDEZ J. A.; CARRASCO L.; CARAVACA F.; Superoxide dismutase and total peroxidase activities in relation to drought recovery performance of mycorrhizal shrub seedlings grown in an amended semiarid soil. **Journal of Plant Physiology**, v. 165, n. 7, p. 715–722, 2008.

ROSA, I. F.; MAKIYA, I. K. Sustentabilidade da soja brasileira no mercado internacional: gestão de trade off. In: VII CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 2011, Niterói, **Anais...** Rio de Janeiro: CNEG, 2011.

SANCHEZ, E.; MAGGI, M. F.; GENÚ, A. M.; MULLER, M. M. L. Propriedades físicas do solo e produtividade da soja em sucessão a plantas de cobertura de inverno. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 26, n. 3, p. 266–275, 2014.

SARTORI, G. M. S.; MARCHESAN, E.; DE DAVID, R.; DONATO, G.; COELHO, L. L.; AIRES, N. P.; ARAMBURU, B. B. Sistemas de preparo do solo e de semeadura no rendimento de grãos de soja em área de várzea. **Ciência Rural**. v. 46, n. 3, p. 492–498, 2016.

SESTÁK, Z.; CATSKY, J.; JARVIS, P G. **Plant photosynthetic production: manual of methods**. The Hague, W. Junk Publishers, 1971. 555 p.

SILVA, C. A. S.; THEISEN, G.; PARFITT, J. M. B.; SILVA, J. J. C.; POHLMANN, N. F.; CARVALHO, E. N.; SEGABINAZI, D. R. **Sistema sulco/camalhão para irrigação e drenagem em áreas de várzea**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2007. 1 p.

STIRBET, A.; LAZÁR, D.; KROMDIJK, J.; and GOVINDJEE. Chlorophyll a fluorescence induction: Can just a one-second measurement be used to quantify abiotic stress responses? *Photosynthetica*, v. 56, n. 1, p. 86–104, 2018.

TAIZ, L.; ZEIGER, E, MOLLER, I. M.; MURPHY, A. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2016. 954 p.

THOMAS, A. L.; LANGE, C. E. **Soja em solos de várzea do sul do Brasil**. 1ª. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2014. 128 p.

TIMM, P. A.; CAMPOS, A. D. S. de; BUENO, M. V.; AIRES, T.; SILVA, J. T. da; SCHREIBER, F.; PARFITT, J. M. B.; SCIVITTARO, W. B.; TIMM, L. C. Avaliação de cultivares de soja produzida em sistema de camalhão em terras baixas. CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 10., 2017, Gramado. Intensificação sustentável: anais. Gramado: Sosbai, 2017.

TIRONI, S. P.; GALON, L.; CONCENÇO, G.; FERREIRA, E. A.; SILVA, A. F.; ASPIAZÚ, I.; FERREIRA, F. A.; SILVA, A. A.; NOLDIN, J. A. Habilidade competitiva de plantas de arroz com biótipos de capim-arroz resistente ou suscetível ao quinclorac. *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 27, n. 2, p. 257-263, 2009.

USDA. **United States Department of Agriculture**: World agricultural supply and demand estimates. Washington (DC), 2017. Disponível em: <<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/latest.pdf>>. Acesso em: 10 de jan. de 2019.

VAHL, L. C.; SOUZA, R. O. Aspectos físico-químicos de solos alagados. In: GOMES, A. S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. (Ed.). **Arroz irrigado no sul do Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. p. 97–118.

VALADÃO, F. C. D. A.; WEBER, O. L. D. S.; JÚNIOR, D. D. V.; SANTIN, M. F. M.; SCAPINELLI, A. Teor de macronutrientes e produtividade da soja influenciados pela compactação do solo e adubação fosfatada. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 40, n. 1, p. 183–195, 2017.

WOOD, C. W.; TRACY, P. W.; REEVES, D. W.; EDMISTEN, K. L. Determination of cotton nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter. **Journal of Plant Nutrient**, v. 15, n. 9, p. 1435–1448, 1992.

XU, C.; XIA, C.; XIA, Z.; ZHOU, X.; HUANG, J.; HUANG, Z.; LIU, Y.; JIANG, Y.; CASTEEL, S.; ZHANG, C. Physiological and transcriptomic responses of reproductive stage soybean to drought stress. **Plant cell reports**, v. 37, n. 12, p. 1611–1624, 2018.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Compreender os mecanismos adaptativos da soja em terras baixas é uma ferramenta útil e eficaz para o aprimoramento de sistemas de manejo. A deficiência hídrica é o fator mais prejudicial ao desenvolvimento da planta, comprometendo funções básicas do seu metabolismo, assim como, as características ambientais que dificultam a absorção de água pela planta, como a alta densidade dos solos ocasionada pela compactação. Funções vitais da planta como, assimilação líquida de CO₂, transpiração e condutância estomática dependem da disponibilidade de água para sua manutenção.

Portanto, propiciar condições adequadas ao desenvolvimento do sistema radicular de plantas de sequeiro, em ambiente de terras baixas é a chave para que se obtenha sucesso no sistema. De forma que, a técnica de sulco-camalhão demonstrou eficiência ao propiciar ambiente adequado ao crescimento da soja, favorecendo o seu desenvolvimento.