



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS

ABELARDO MÁXIMO DE CARVALHO FILHO

**AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO HÍDRICA EM SISTEMAS
DE PRODUÇÃO DE MILHO E SOJA, POR MEIO DA
TEMPERATURA FOLIAR, NA REGIÃO DO SEALBA**

São Cristóvão – SE

2023

ABELARDO MÁXIMO DE CARVALHO FILHO

**AVALIAÇÃO DA CONSERVAÇÃO HÍDRICA EM SISTEMAS
DE PRODUÇÃO DE MILHO E SOJA, POR MEIO DA
TEMPERATURA FOLIAR, NA REGIÃO DO SEALBA**

Dissertação apresentada ao Núcleo
de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos como um dos requisitos
para obtenção do título de Mestre
em Recursos Hídricos

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Souza Resende

São Cristóvão – SE

2023

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

C331a Carvalho Filho, Abelardo Máximo de
Avaliação da conservação hídrica em sistemas de produção
de milho e soja, por meio da temperatura foliar, na região do
SEALBA / Abelardo Máximo de Carvalho Filho; orientador
Ronaldo Souza Resende. – São Cristóvão, SE, 2023.
63 f. : il.

Dissertação (mestrado em Recursos Hídricos) –
Universidade Federal de Sergipe, 2023.

1. Recursos hídricos. 2. Plantas – Relações hídricas. 3. Plantio
(Cultivo de plantas). 4. Plantas e solo. 5. Resiliência (Ecologia). 6.
Produtividade agrícola. 7. Milho – Meios de cultivo. 8. Soja –
Meios de cultivo. I. Resende, Ronaldo Souza, orient. II. Título.

CDU 556.18:631.543

ABELARDO MÁXIMO DE CARVALHO FILHO

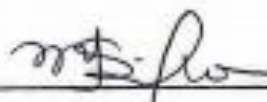
**Avaliação da conservação hídrica em sistemas de produção de
milho e soja, por meio da temperatura foliar, na região do
SEALBA**

Dissertação apresentada ao Núcleo
de Pós-Graduação em Recursos
Hídricos da Universidade Federal
de Sergipe como um dos requisitos
para obtenção do título de Mestre
em Recursos Hídricos.

Aprovada em 27 de janeiro de 2023



Dr. Ronaldo Souza Resende
(Orientador)



Dra. Maria Isidória Silva Gonzaga



Documento assinado digitalmente
ANDRÉ QUINTÃO DE ALMEIDA
Data: 13/03/2023 15:58:46-0300
Verifique em <https://validar.jt.gov.br>

Dr. André Quintão, de Almeida



Dr. Edson Patto Pacheco

São Cristóvão – SE
2023

Aos meus pais (in memoriam):

Maria do Carmo Oliveira Conceição e

Abelardo Máximo de Carvalho.

DEDICO

RESUMO

Diante dos cenários futuros de mudanças climáticas e insegurança hídrica, práticas de preparo do solo como a aração e a gradagem, ainda vistas como indispensáveis para o cultivo de grãos, podem afetar negativamente a produção agrícola e a sustentabilidade dos cultivos, quando aplicadas de forma continuada e a longo prazo. Por outro lado, sistemas de cultivo do solo de caráter mais conservacionistas têm sido apontados como promotores de melhoria nas suas propriedades físico-hídricas e químicas e, por conseguinte, nos indicadores de produção vegetal. O presente trabalho teve como objetivo avaliar diferentes sistemas de cultivo de grãos quanto à capacidade de promover a conservação da água disponível no perfil do solo, para as culturas. A hipótese estabelecida foi que, ao longo do tempo, sistemas conservacionistas são capazes de promover alterações nas condições edáficas dos solos de tabuleiros costeiros, conferindo-lhe maior resiliência à ocorrência de estresses hídricos comumente observados na janela temporal de cultivo de grãos dessa ecorregião. Para avaliação dessa hipótese foi utilizada a temperatura foliar, obtida por meio de termômetro infravermelho, e a diferença de temperatura folha/ar como indicador do estado hídrico do sistema solo-planta. Para tanto, foi utilizada área experimental conduzida há 10 anos com os cultivos de soja e milho, tendo sido avaliados para cada espécie três sistemas de cultivo: 1. Plantio convencional, 2. Plantio direto e 3. Plantio direto e rotação com *Urochloa decumbens* (no caso da soja) e para o milho: 1. Plantio direto, 2. Plantio direto consorciado com *Urochloa decumbens* e 3. Plantio direto consorciado com *Urochloa decumbens* em rotação com soja em Plantio direto. O arranjo experimental foi estruturado em blocos ao acaso e o delineamento estatístico adotado foi em blocos ao acaso com parcela subdividida. A temperatura foliar e a diferença de temperatura folha/ar foi analisada, quanto a variância entre os tratamentos, entre os blocos e no tempo, considerando a significância para $P \leq 0,05$. Os sistemas de cultivo conservacionistas apresentaram menor oscilação do processo de transpiração dos cultivos e proporcionaram maior resiliência hídrica frente aos fatores de estresse abiótico. A soja plantada em sistema de plantio direto, rotacionada com *Urochloa decumbens* e o milho plantado em sistema de plantio direto, consorciado com *Urochloa decumbens* e rotacionado com soja em plantio direto a longo prazo, modificaram as propriedades hidráulicas do solo e promoveram um maior armazenamento de água em seu perfil.

.

Palavras-chave: plantio direto, infravermelho, termografia, milho, soja, *Urochloa*

ABSTRACT

Faced with future scenarios of climate change and water insecurity, soil preparation practices such as plowing and harrowing, still seen as essential for grain cultivation, can negatively affect agricultural production and the sustainability of crops, when applied continuously and in the long term. On the other hand, soil cultivation systems of a more conservationist nature have been identified as promoting improvements in their physical, water and chemical properties and, consequently, in plant production indicators. This study aimed to evaluate different grain cultivation systems regarding their ability to promote the conservation of available water in the soil profile for crops. The established hypothesis was that over time, conservationist systems are able to promote changes in the edaphic conditions of soils in coastal tablelands, giving them greater resilience to the occurrence of water stress commonly observed in the temporal window of grain cultivation in this ecoregion. To evaluate this hypothesis, leaf temperature was used, obtained using an infrared thermometer, and the leaf - air temperature difference was used as an indicator of the water status of the soil-plant system. For this purpose, an experimental area conducted 10 years ago with soybean and corn crops was used, with three cultivation systems being evaluated for each species: 1. Conventional tillage, 2. No-tillage farming and 3. No-tillage and rotation with *Urochloa decumbens* (in the case of soy) and for corn: 1. No-tillage farming, 2. No-tillage farming intercropped with *Urochloa decumbens* and 3. No-tillage farming intercropped with *Urochloa decumbens* in rotation with soy in no-tillage farming. The experimental arrangement was structured in randomized blocks, and the adopted statistical delineation was in randomized blocks with subdivided parcels. The leaf temperature and the difference between leaf and air temperature were analyzed for variance between treatments, blocks and over time, considering significance for $P \leq 0.05$. Conservationist cultivation systems showed less oscillation in the transpiration process of crops and provided greater water resilience against abiotic stress factors. Soybean planted in no-tillage system, rotated with *Urochloa decumbens* and corn planted in no-tillage system, intercropped with *Urochloa decumbens* and rotated with soybean in no-tillage, in the long term modified the hydraulic properties of the soil and promoted greater storage of water in your profile.

Keywords: no-tillage farming, infrared, thermography, corn, soybean, *Urochloa*

AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos a Universidade Federal de Sergipe, ao Programa de pós-graduação em Recursos Hídricos e a Embrapa Tabuleiros Costeiros que contribuíram para realização deste trabalho.

Ao professor e orientador Ronaldo Souza Resende, que pela arte de ensinar delineou o melhor caminho a seguir, não poupando esforços para chegarmos ao objetivo final.

Aos membros da banca examinadora, Dr. Ronaldo Souza Resende, Dra. Maria Isidória Silva Gonzaga, Dr. André Quintão de Almeida e Dr. Edson Patto Pacheco, pela contribuição direta ou indireta na minha formação, pessoas pelas quais tenho alta estima.

A todos os professores do programa de pós-graduação em Recursos Hídricos, por compartilharem o melhor de si, durante as aulas e pelo constante apoio, mesmo quando vivíamos um momento de pandemia.

Aos meus colegas de curso, que partilharam alegrias e tristezas; momentos bons e difíceis.

A minha esposa Erlan Soares de Carvalho e filhos: Abel Soares Máximo de Carvalho, Isabela Soares Máximo de Carvalho e Benjamim Oliver Soares Máximo de Carvalho pela compreensão e incentivo

A minhas irmãs, Adélia Regina Oliveira Carvalho, Lana Paula Oliveira Carvalho e Andréia Cristina Oliveira Carvalho pelas orações, apoio e incentivo.

A minha Tia Cremilda e sobrinhos Hávila e Henrique pelo constante carinho.

A Deus, pela amizade na caminhada.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Campo experimental Jorge do Prado Sobral- Embrapa Tabuleiros Costeiros – Município de Nossa Senhora das Dores -Sergipe.	30
Figura 2 - Termômetro infravermelho. Fonte: Do autor.	33
Figura 3 - Tratamento das fotografias. Fonte: Do autor.	34
Figura 4 - Balanço hídrico decendial (a), evapotranspiração potencial e real (b) e armazenamento de água no solo (c), ao longo do ano de 2021.	37
Figura 5 - Precipitação, temperatura do ar (Ta) para o mês de setembro de 2021.	38
Figura 6 - Imagem térmica obtida no dia 02/09/2021, representando as parcelas experimentais de soja: S-PC (A), S-PD (B) e B/S-PD (C). A imagem da direita corresponde a foto termal da foto da esquerda. Fonte: Do autor.	39
Figura 7 - Relação entre a Temperatura do ar (Ta) e foliar (Tf) da soja em três sistemas de cultivo.	40
Figura 8 - Diferença Tf-Ta em diferentes sistemas de cultivo.	41
Figura 9 - Fotografia, retirada no dia 02/09/2021, representando as parcelas experimentais de milho: M-PD (A), MB-PD (B) e S/MB-PD (C). Fonte: Do autor.	44
Figura 10 - Relação entre a Temperatura do ar (Ta) e foliar (Tf) d o milho em três sistemas de cultivo.	45
Figura 11 - Diferença Tf-Ta em diferentes sistemas de cultivo.	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo ANOVA para temperatura foliar e colheita da soja.	41
Tabela 2 - Temperatura foliar máxima, média, mínima e amplitude da soja.	42
Tabela 3 - Resumo ANOVA para temperatura foliar e colheita do milho.	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

B/S-PD - Soja cultivada em plantio direto, em rotação a cada ano com *Urochloa decumbens*.

COS - Carbono orgânico do solo.

DAP - Dias após o plantio.

MB-PD - Milho cultivado em plantio direto, consorciado com *Urochloa decumbens*.

MOS - Matéria orgânica do solo.

M-PD - Milho cultivado em plantio direto.

S/MB-PD - Milho cultivado em plantio direto, consorciado com *Urochloa decumbens* e rotacionado a cada ano com soja em plantio direto.

S-PC - Soja cultivada em plantio convencional.

S-PD - Soja cultivada em plantio direto.

Ta - Temperatura do ar.

Tf - Temperatura foliar.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1. SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA E QUALIDADE DO SOLO	15
2.5. ESTRESSE HÍDRICO	25
2.6. RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA DA FOLHA E ESTRESSE HÍDRICO	27
3. MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1 Localização da área de pesquisa	30
3.2 Preparo da área experimental	31
3.3 Parcelas experimentais	32
3.4 Obtenção e tratamento das imagens térmicas	32
3.5 Obtenção dos dados meteorológicos	35
3.6 Delineamento estatístico	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
4.1 Balanço hídrico para o ano de 2021	36
4.2 Temperatura foliar da soja.	38
4.3 Diferença de temperatura entre a folha (Tf) e o ar (Ta) para soja.	41
4.4 Temperatura foliar em sistemas de cultivo de milho	43
4.5 Diferença de temperatura entre a folha (Tf) e o ar (Ta) para milho.	46
5. CONCLUSÃO	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

A produtividade nos sistemas agrícolas é severamente restringida pela disponibilidade hídrica. Mesmo regiões que possuem precipitação adequada, podem sofrer com limitação de água, devido a estação seca, chegando a perdas de rendimento. Riscos relacionados a insegurança hídrica se tornaram um desafio mundial, devido principalmente a mudanças climáticas e o crescimento populacional.

Um bom manejo do solo envolve melhorar os atributos que conferem maior resiliência hídrica às plantas. Alguns atributos físicos dos solos podem ser melhorados pelo sistema de cultivo (Liao et al. 2021), ampliando sua capacidade de armazenamento de água, desde que bem conduzidos. O Sistema de cultivo por plantio direto, é umas das ferramentas agronômicas mais relevantes (PITTELKOW et al., 2015). Além disso, diante dos cenários futuros de insegurança hídrica, técnicas que favoreçam o uso eficiente dos recursos hídricos representam uma excelente estratégia que auxiliam na tomada de decisão.

O plantio direto consiste na menor perturbação do solo, sem o uso de arado ou grade. Já o sistema de plantio direto compreende num conjunto de processos tecnológicos que promovem a conservação do solo, onde se caracteriza por mínima perturbação do solo, cobertura permanente do solo e diversificação das culturas por rotação ou consórcio e em alguns casos o processo de colheita-semeadura juntas para reduzir o intervalo entre as operações.

Apesar de haver discussões (Giller et al. 2009) quanto a sua eficiência, técnicas que envolvam o manejo conservacionista ou a agricultura sustentável podem ter um efeito positivo tanto ao meio ambiente, com redução dos gases de efeito estufa - GEE (BRIEDIS et al., 2016), como são altamente recomendados pela Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura – FAO (BAUDRON et al., 2015; GOWING; PALMER, 2008) por representar um aprimoramento dos serviços do solo.

Os sistemas de cultivo dos principais produtos agrícolas brasileiros, como a soja (*Glycine max* L.) e o milho (*Zea mays* L.), são o convencional e o sistema de cultivo conservacionista, este último tem variações entre plantio direto, consórcio e a rotação de cultura.

A região que compreende os estados nordestinos de Sergipe, Alagoas e Bahia (Sealba) e mais especificamente a ecorregião dos Tabuleiros Costeiros localizada no estado de Sergipe, a produção de grãos se concentra na monocultura do milho, em regime de sequeiro, com cultivo convencional, com algumas áreas em plantio direto consecutivo, sem rotação. Para além, o consórcio do milho com o capim *Urochloa decumbens* é ainda incipiente, bem como a rotação do milho com a soja, ou a adoção do sistema lavoura pecuária, nesta região. Em termos proporcionais, a área do Sealba, em extensão territorial possui 5.148.941 ha, sendo 33,2% localizadas em Sergipe, 36,1% em Alagoas e 30,7% na Bahia.

Portanto, indicadores agronômicos de produtividade específicos para esta região, para estes sistemas de cultivo, com condições de clima e de solo específicas, podem ser estratégicos para o desenvolvimento de políticas públicas, bem como no auxílio na escolha do melhor sistema de cultivo que possa conferir melhores ganhos de produtividade.

A temperatura foliar está intrinsecamente relacionada com a umidade do solo e a termografia infravermelha é capaz de detectar variações de temperatura da planta (HARRAP et al., 2018). Sendo assim, o uso de termômetros de superfície radiométrica torna-se uma ferramenta poderosa, não invasiva, rápida e eficiente para a determinação de déficit hídrico das culturas, podendo indicar quando as plantas estão sob estresse de forma imediata.

Logo, esse trabalho tem como objetivo avaliar diferentes sistemas de cultivo de soja e de milho quanto a sua resiliência ao déficit hídrico do solo, ao longo do ciclo cultural, utilizando a temperatura foliar e a diferença de temperatura folha/ar como indicador do estado hídrico da planta. A hipótese a ser testada é se os sistemas conservacionistas tendem, a longo prazo, melhorar as propriedades hidráulicas do solo, promovendo um maior armazenamento de água no seu perfil e menor oscilação do processo de transpiração dos cultivos, proporcionando-lhes maior conforto térmico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. SUSTENTABILIDADE AGRÍCOLA E QUALIDADE DO SOLO

A sustentabilidade, no geral, tem um foco antropocêntrico, resultando no uso frequente do termo serviço de solo em vez da função do solo (LUDWIG; WILMES; SCHRADER, 2018). A maioria das definições de sustentabilidade tem como foco o uso eficiente dos recursos. Neste sentido, a resiliência do solo poderia ser utilizada como bioindicador para sustentabilidade do manejo do solo, pensando no desenvolvimento sustentável como “o manejo do solo que atenda às necessidades do presente sem comprometer as necessidades das gerações futuras”.

A FAO preconiza a economia de recursos para a produção agrícola, baseado no aprimoramento dos processos naturais acima e abaixo do solo, como perturbação mínima do solo, cobertura permanente e rotação de culturas diversificadas (BAUDRON et al., 2015; GOWING; PALMER, 2008).

O solo é um meio poroso heterogêneo, dinâmico e biologicamente ativo, com suas funções intimamente ligadas à sua “arquitetura” tridimensional (TOTSCHKE et al., 2018). Sua qualidade consiste na capacidade de funcionar dentro dos limites do ecossistema e do uso da terra para sustentar a produtividade biológica, manter a qualidade ambiental e promover a saúde vegetal e animal (BÜNEMANN et al., 2018). Sendo assim, o sucesso ou fracasso de projetos agrícolas dependem das propriedades físicas do solo.

Neste contexto, o solo ajuda a regular e influenciar os ecossistemas através da provisão, armazenamento, a ciclagem e liberação da água, calor e nutrientes essenciais (CHANEY et al., 2019). No quadro de suas funções, o solo é visto como um sistema completo em si, com alto grau de heterogeneidade espacial, aberto e interagindo de forma complexa com seu entorno (BAVEYE; BAVEYE; GOWDY, 2016).

Os indicadores de saúde do solo são responsivos ao manejo, refletidos com mudanças na estrutura do solo, infiltração, característica de enraizamento do solo, porosidade, cobertura do solo, água disponível para as plantas, condutividade elétrica, material orgânico, biomassa, diversidade microbiológica e nutrientes (ALLEN; SINGH; DALAL, 2011). Para tanto, a saúde do solo é crucial para aumentar a adaptabilidade e a resiliência às mudanças climáticas (CONGREVES et al., 2015). Pensar em práticas de lavouras menos agressivas é primordial

para alcançar e manter a boa saúde do solo (KARLEN et al., 2013).

A sustentabilidade dos sistemas convencionais de produção agrícola está ameaçada por crises energéticas e ambientais, deterioração dos recursos naturais e diminuição da rentabilidade das fazendas (YADAV et al 2020), sendo necessário mudar as práticas de produção agrícola por sistemas que aproveitem mais os serviços ecossistêmicos. Neste sentido, a agricultura sustentável tem a visão de produzir mais grãos alimentares sem o aumento das emissões globais de GEE para mitigar as altas emissões de carbono em massa e limitar a temperatura global inferior a 2°C (ZAMAN, 2020).

Os objetivos do desenvolvimento sustentável através da agricultura, especialmente nos ecossistemas que dependem de chuvas, podem ser alcançados por práticas eficazes de gestão da conservação (YADAV et al., 2021). Estas práticas podem modificar as propriedades do solo, a capacidade de retenção de água, os agregados do solo, a densidade do solo e porosidade (PALM et al., 2014). Há evidências que a matéria orgânica do solo aumenta com a agricultura de conservação e favorece outras propriedades e processos do solo que reduzem a erosão, o escoamento superficial e aumenta a qualidade da água (KAN et al., 2022).

2.2. AGRICULTURA DE CONSERVAÇÃO E SISTEMA PLANTIO DIRETO

O plantio direto é um componente importante da agricultura de conservação, sua origem surge na década de 1930 nos EUA, onde grave erosão de solos degradados ocorreu sobre grandes áreas de terras agrícolas (PITTELKOW et al., 2015). No sudoeste da Europa, a adoção de plantio direto se deu devido às vantagens ambientais percebidas e à redução de custos (SOANE et al., 2012). De qualquer forma, o manejo da produção agrícola é um fator muito importante e fundamental na agricultura.

Para tanto, a agricultura de conservação aumenta a matéria orgânica do solo e pode levar ao aumento da resistência à seca em regiões áridas e na produção agrícola (HAMMAD et al., 2020). Apesar dos benefícios já comprovados dos sistemas conservacionistas, alguns estudos têm demonstrado que algumas propriedades do solo relacionadas à sua compactação podem aumentar progressivamente no plantio direto (ALESSO et al., 2018) devido, principalmente, ao tráfego de máquinas e implementos. Além disso, pode ocorrer uma consolidação natural pelo não revolvimento, o que aumenta a densidade e reduz a porosidade total na camada superficial comparada com o solo em plantio convencional (RIBEIRO et al., 2016). A redução da porosidade total se dá, fundamentalmente, pela macroporosidade, pois os poros maiores são mais sensíveis ao processo de compactação. Todavia, estudos recentes apontam para aumento da microporosidade (MONDAL; CHAKRABORTY, 2022).

A agregação do solo, o arranjo espacial dos vazios e partículas do solo, influencia funções e processos do solo, como movimento e armazenamento de água e ar. Alterações no diâmetro dos poros provoca um aumento na capacidade de retenção de umidade para os solos em sistemas de plantio direto. Solos sob vegetação natural e sistemas de conservação de lavouras geralmente têm índices de agregação mais elevados e estoques totais de carbono orgânico nas camadas superficiais do que solos sob manejo convencional (arado) (BARRETO et al., 2009). A presença de carbono orgânico é de fundamental importância para a gênese dos agregados e para a manutenção da estrutura do solo, sobretudo no que diz respeito à sua estabilidade.

Práticas de manejo influenciam as características físicas e químicas do solo e provocam mudanças na estrutura em função da comunidade microbiana (MATHEW et al., 2012). Neste sentido, uma combinação de fatores à base de solo e plantas afeta a eficiência do uso da água nos sistemas de cultivo (RIAZ et al., 2020).

Uma série de práticas agrícolas foram identificadas para aumentar o estoque de Carbono orgânico do solo (COS), como rotação de cultura, retorno de resíduos, culturas de cobertura, plantio reduzido e agroflorestal (AUTRET et al., 2020). A combinação dessas práticas pode gerar sistemas alternativos de cultivo diferentes do paradigma dominante dos sistemas convencionais, pois compartilham as mesmas inspirações (AUTRET et al., 2016).

Alguns estudos demonstram que o manejo do solo, em condições de semeadura direta, proporciona maior acúmulo de fósforo, cálcio e magnésio, potássio e carbono orgânico em diversas profundidades analisadas (BROWN et al., 2018). Desta forma, a agricultura de conservação e a agricultura orgânica poderiam restaurar melhores condições para os organismos do solo (HENNERON et al., 2015). Melhorando a qualidade e a sustentabilidade para a produção agrícola a longo prazo.

Neste caso, em específico, a implantação do sistema de plantio direto, substituindo os processos mecânicos, como aração e gradagem, por processos biológicos pode proporcionar melhores condições para a produção vegetal. As vantagens das práticas de conservação sobre plantio convencional incluem: reduzir custo de cultivo; permitir que os resíduos da cultura atuem como isolador e reduzir a flutuação da temperatura do solo; construção de matéria orgânica do solo e conservar a umidade do solo (MATHEW et al., 2012).

Destas vantagens citadas, a cobertura constante do solo é uma das principais características do sistema de plantio direto. A palha é eficaz no aumento do teor de COS, melhora o teor de água no solo, aumenta sua atividade enzimática e a eficiência do uso da água (AKHTAR et al., 2018). O carbono orgânico do solo retém e recicla nutrientes, melhora a estrutura do solo, melhora as características de troca de água e aeração, e sustenta a vida microbiana dentro do solo (WILHELM et al., 2007). Portanto, o COS é um importante indicador da qualidade do solo e desempenha um papel crucial na manutenção desta qualidade, na promoção da produtividade das culturas e na proteção do meio ambiente do solo (HOU et al., 2012).

Adições de palha podem ser eficazes no aumento do conteúdo COS, melhoram a fertilidade, diminuem as perdas de nutrientes por escoamento e lixiviação, reduzem a erosão pelo vento ou água (ZHANG et al., 2021) e reduzem a evaporação da água do solo (KLOCKE; CURRIE; AIKEN, 2009). Em alguns trabalhos o mulch de palha reduziu a temperatura do solo (BALWINDER-SINGH et al., 2011) mudando o microclima. Esse efeito das práticas

conservacionistas na temperatura do solo tem reflexos importantes na umidade do solo e, por consequência, na resposta das culturas. LIU et al (2021) encontraram em seus estudos que à medida que a quantidade de palha aumentava, o teor de água do solo e a eficiência do uso da água também aumentavam.

A porosidade do solo também influencia a umidade do solo, redes de bioporos criados pela atividade vegetal e animal podem se acumular em sistemas de cultivo reduzidos. Em sistemas de plantio direto de longo prazo foram encontrados de 30% a 100% a mais de bioporos de 1 mm de diâmetro que em sistemas de plantio direto de curto prazo (WUEST, 2001). Esta porosidade do solo é um fator importante na infiltração da água e na drenagem. Além disso, poros estáveis são essenciais para o crescimento das plantas.

Os solos, principalmente aqueles bem agregados e estruturados, abrigam um quarto da biodiversidade mundial e residem entre os habitats mais complexos da Terra (HARKES et al., 2019). Numa amostra de solo existe um extraordinário número de microhabitats. A variação temporal nos fatores físico-químicos dos solos como umidade, temperatura e nutrientes dentro de cada microhabitats espaciais aumenta ainda mais os nichos disponíveis para apoiar populações microbianas (ROESCH et al., 2007).

A estabilidade hídrica dos micro-agregados depende dos agentes orgânicos de ligação e parece ser uma característica do solo, já os macroagregados são controlados pelo manejo do solo, especialmente a rotação de cultura (TISDALL; OADES, 1982). Ou seja, a matéria orgânica atua como agente vinculante para a formação de agregados e está intimamente ligada à presença de raízes, hifas, vermes, polissacarídeos e material aromático (ÁLVARO-FUENTES et al., 2008). Os macroagregados ($>250\ \mu\text{m}$) são envolvidos por raízes, vivas e em decomposição, são sensíveis ao manejo, e aumentam o número quando as gramíneas são cultivadas e o solo não é perturbado. Já a falta de crescimento de raiz, tem efeito oposto (OADES, 1984)

Vários estudos apontam que práticas de manejo agrícola que integram o plantio direto influenciam certas propriedades do solo, as quais servem como indicadores de saúde e qualidade (WULANNINGTYAS et al., 2021). Este sistema de manejo promove melhoria na qualidade das propriedades químicas e biológicas do solo e contribui para o acúmulo de carbono no solo ao longo do período. (DOS SANTOS SOARES et al., 2019).

Entretanto, os sistemas de plantio direto podem ser gerenciados com diferentes intensidades de cultivo, rotação de cultura e tecnologias. Assim, os campos sob plantio direto podem expressar estado de saúde contrastante (KRAEMER et al., 2022). A falta de rotações de culturas, por exemplo, mesmo sob o plantio direto, poderia levar a perdas de COS e produtividade. Essas perdas podem ser agravadas se a agricultura for conduzida em terras com alta propensão à degradação do solo (NOVELLI; CAVIGLIA; PIÑEIRO, 2017).

2.3. SISTEMA DE CULTIVO TRADICIONAL

O solo é um sistema dinâmico ao longo do tempo, portanto, há uma forte ligação entre tempo e processos de formação do solo; ações humanas ao longo do tempo modificam a paisagem, afetando os serviços ecossistêmicos. A mudança no uso da terra é considerada a principal força motriz de mudanças nas funções ecossistêmicas. O abandono de terras aráveis devido à diminuição da produtividade é uma mudança de uso da terra que pode resultar da erosão do solo (BAKKER et al., 2005).

O uso do arado para a produção de grãos tem sido a principal causa de degradação do solo (DE MORAES SÁ et al., 2015)

Avaliar os impactos dos sistemas de cultivo no ambiente físico do solo é essencial para identificar práticas de manejo que conservem o solo e a água e melhoram a produtividade do solo (BLANCO-CANQUI; STONE; STAHLMAN, 2010).

Em sistemas de cultivo convencional, por exemplo, a falta de cobertura do solo por resíduos e a exposição da camada superficial às chuvas de alta intensidade, resultam na desagregação das partículas, formação de crosta, redução da disponibilidade de água para as plantas, erosão e má qualidade de água (FRANZLUEBBERS, 2002). Um estudo da Global Assessment of Soil Degradation estimou que cerca de 2 bilhões de hectares (22,5%) de terras agrícolas, pastagens, florestas foram degradados desde o século XX, dos quais 140 milhões de hectares (7%) estão no Brasil (DE OLIVEIRA FERREIRA et al., 2018).

O plantio convencional envolve práticas tradicionais de preparo do solo, onde a terra é revolvida por meio de aração e/ou gradagem, com semeadura e cultivo subsequente. As práticas convencionais de lavoura podem afetar negativamente a produtividade do solo a longo prazo devido à erosão e perda de matéria orgânica nos solos (MATHEW et al., 2012). Além disso, várias operações agrícolas, incluindo aração, podem resultar em aumento na concentração de gases de efeito estufa (GEE) ou, CO₂CH₄ e N₂O (LAL et al., 2019).

A conversão da vegetação natural em terras agrícolas utilizando o sistema de cultivo convencional, com frequente aração promove a destruição dos agregados e a decomposição da matéria orgânica do solo (MOS), levando ao esgotamento do COS (BRUUN et al., 2015). Em contrapartida, a agricultura de conservação pode restaurar a agregação do solo e acumular o COS ao longo do tempo (TIVET et al., 2013).

2.4. AGRICULTURA DE CONSERVAÇÃO E PROPRIEDADES DO SOLO

Atualmente, o Brasil possui 36,8 milhões de hectares sob agricultura de conservação, respondendo por aproximadamente 75% da área total de produção de grãos (DE OLIVEIRA FERREIRA et al., 2021). Solos altamente intemperizados de diferentes regiões do Brasil, administrados por um longo período em agricultura de conservação, ainda estão longe da saturação de C, mas podem se tornar potenciais sumidouros de CO₂ (BRIEDIS et al., 2016).

O manejo é essencial para otimizar a porosidade, aeração, infiltração cumulativa, a taxa de infiltração de equilíbrio, retenção de água do solo, características da água do solo e água disponível para as plantas (JASTROW; MILLER, 1991).

A porosidade do solo é um fator importante na infiltração da água (WUEST, 2001). Assim, a conversão da lavoura convencional para o plantio direto é frequentemente sugerida pelos feitos positivos a longo prazo em várias propriedades físicas e hidráulicas do solo, inclusive a distribuição de poros (CASTELLINI et al., 2019). Alguns estudos apontam que a infiltração da água é mais influenciada pela cobertura vegetal, dependendo do tipo de uso da terra, do que pelo sistema de lavoura do solo (DE ALMEIDA et al., 2018), outros estudos indicam que a capacidade de infiltração no solo de textura argila arenosa aumentou em plantio direto quando comparado ao convencional (AMAMI et al., 2021).

Num sistema de 5 anos de plantio direto houve redução da densidade e resistência à penetração e aumentou a porosidade total, o conteúdo de água disponível e a estabilidade agregada (VILLAMIL et al., 2006), em outro sistema com 15 anos, houve aumento do COS, da infiltração, da estabilidade agregada úmida e redução da compactação do solo quase superficial (BLANCO-CANQUI et al., 2011). Já em uma área sob plantio direto e culturas de cobertura há 34 anos, houve melhoria considerável nas propriedades hidrofísicas do solo numa produção de algodão (NOURI et al., 2019), resultando em melhoria na estabilidade agregada úmida, macroagregação, disponibilidade de água, infiltração da água, condutividade hidráulica do que na lavoura convencional.

Há uma gama de práticas recomendadas de manejo para conservação do solo e da água, das quais a agricultura de plantio direto é uma opção promissora (ABID; LAL, 2009). Todavia, mudanças nas propriedades físicas do solo ocorrem lentamente e estudos de longo prazo são necessários para avaliar a qualidade do solo (DA SILVA et al., 2016).

Em um estudo de 7 e 3 anos de aplicação de plantio direto, JEMAI et al. (2013), avaliaram os parâmetros de MOS, densidade, porosidade total, macroporosidade, microporosidade, retenção de água do solo na capacidade de campo e em ponto de murcha permanente, conteúdo disponível de água e teor de umidade do solo.

Os autores observaram aumento no nível de MOS na camada de 0-30 cm, consequente melhoria na densidade e na porosidade total quando comparado com plantio convencional. Todavia, aos 3 anos de plantio direto, estas melhorias ficaram restritas à camada de 0-10 cm. Tanto para os 3 e 7 anos teve um aumento considerável da microporosidade de 0-30 cm, o que aumentou o teor de água do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, enquanto a macroporosidade ficou reduzida em comparação ao plantio convencional, com redução menor para o plantio direto de 7 anos.

A umidade do solo aumentou com a profundidade em plantio direto de 3 e 7 anos de implantação, bem como a infiltração, com valores de disponibilidade de água para as plantas maiores para o tratamento com 7 anos de plantio direto. Estes resultados confirmam que o plantio tem vantagens em termos de água do solo e armazenamento de matéria orgânica quando comparado ao plantio convencional.

REICHERT et al., (2016) propôs um quadro conceitual aos diferentes estados do plantio direto: inicial (1,5 anos), intermediário (3,5 anos), transitório (5 anos) e aproximação de um estágio mais estabilizado (14 anos), levando em conta, dentre vários outros fatores, a porosidade do solo, condutividade hidráulica saturada, curva de retenção de água na profundidade de 0-7, 7-14, 14-21 cm de profundidade.

Vários outros autores encontraram que os efeitos das práticas de conservação levaram a um impacto positivo na disponibilidade de água para as plantas (RUSU, 2014), melhoraram a estabilidade da fração macroagregada e a retenção de água a longo prazo (AJAYI et al., 2021), ou seja, a implementação dessas práticas garante maior abastecimento de água. Em relação ao sistema convencional de cultivo, a agricultura de conservação modifica os processos e as propriedades do solo, incluindo a regulação climática e a regulação e fornecimento de água, ou pelo sequestro do carbono e emissões dos gases de efeito estufa, ou através das propriedades químicas e biológicas do solo (PALM et al., 2014).

Os solos possuem propriedades e processos inerentes e dinâmicos e avaliar sua qualidade deve passar por suas propriedades biológicas, químicas e físicas e seus processos e

interações (KARLEN; DITZLER; ANDREWS, 2003). Os milhões de microorganismos, residentes no solo, desempenham funções em todo ecossistema terrestre abaixo do solo, suportam as formas de vidas mais altas, estabilizam o solo, facilitam ciclos biogeoquímicos e formam relações simbióticas com espécies de plantas terrestres (BOWD et al., 2022).

Em se tratando do consórcio milho com braquiária LEONEL et al., (2009) reportaram que o sombreamento reduz tanto a produção de forragem do capim *Brachiaria*, como os componentes da parede celular, ou seja, em tese, a competição por luz diminuiu a matéria seca, mas pode beneficiar na digestibilidade do material produzido. Todavia, em relação à produtividade do milho, esta não foi alterada. DE FREITAS et al. (2018) encontraram em seus trabalhos que a intercultura capim braquiária-milho proporcionou condições favoráveis para o crescimento da população microbiana do solo. SILVA et al. (2020), avaliando a interculturação do milho com *Brachiaria ruziziensis*, constataram que este promove uma maior extração de água no solo, principalmente na camada de 0 - 30 cm. Considerando o estágio de crescimento do milho que exige maior teor de água (floração e enchimento dos grãos), este sistema extrai água nas camadas mais profundas do solo.

2.5. ESTRESSE HÍDRICO

O estresse hídrico é difícil de estudar nas plantas porque a sensibilidade e o tempo de resposta ao estresse hídrico variam entre diferentes espécies vegetais e estão relacionadas à intensidade e comprimento do estresse hídrico (TOSCANO et al., 2018). Todavia, os estômatos são sensíveis ao estado da água vegetal, e a uma tendência dos estômatos para fechar com a diminuição da umidade do solo; por isso, tem sido proposto como medida indireta de estresse hídrico para agendamento da irrigação (YU et al., 2015).

A amplitude dos fatores que regem a produção agrícola é vasta, porém ampliar nossa compreensão a respeito das influências ambientais sobre plantas, representa um componente significativo (WARGENT; JORDAN, 2013). Nestes termos a radiação solar incidente na superfície terrestre compõe a principal fonte de energia para o desenvolvimento dos vegetais (PETTER et al., 2016). A insolação, através de sua influência no equilíbrio energético e hídrico na superfície da Terra, afeta processos como aquecimento do ar e do solo, evapotranspiração, fotossíntese, ventos e derretimento da neve (FU; RICH, 2002).

A variabilidade climática está intrinsecamente ligada à capacidade produtiva dos sistemas de produção agrícola, globalmente (CAICEDO-LOPEZ et al., 2021). As plantas estão sujeitas a uma série de estresses que afetam seu crescimento, dentre estas variabilidades, prevê-se que o déficit hídrico continuará a ser um importante fator abiótico limitante da produção (MANAVALAN et al., 2009). Ligando tanto as tensões, o aquecimento global e os efeitos do déficit hídrico, o incremento da evapotranspiração será intensificado (NAVARRO-REIG et al., 2019) e o estresse hídrico poderá induzir uma sequência de alterações morfológicas, bioquímicas e fisiológicas que alteram o crescimento das plantas.

Neste sentido, quando as plantas enfrentam condições desfavoráveis, a exemplo do estresse abiótico, haverá redução do crescimento e da produtividade (OBATA; FERNIE, 2012). Sob condições de estresse abiótico, as vias metabólicas devem ser reconfiguradas para manter o metabolismo essencial (VIANA et al., 2022). Sob o ponto de vista fisiológico quanto bioquímico, geralmente é aceito que manter a integridade e a fluidez das membranas é de fundamental importância para que as plantas sobrevivam a condições estressantes (YU; LI, 2014).

Ao contrário dos animais que podem escapar quando estão expostos a restrições

ambientais, as plantas, que estão enraizadas no solo, têm que lidar comumente com um ambiente em mudança (PRÉVOST et al., 2020). Para lidar com o estresse da seca, várias alterações fisiológicas e bioquímicas ocorrem nas plantas. Essas mudanças visam combater a perda de água dentro da célula vegetal, reduzindo a abertura estomatal e a manutenção da fotossíntese (PARIDA; JHA, 2013). Compreender as respostas da condutância estomatal às mudanças na concentração atmosférica de CO₂, déficits hídricos no ar/solo e outras variáveis ambientais é crucial para prever os impactos das mudanças globais no sistema clima-vegetação (DEWAR et al., 2018).

No que tange às condições meteorológicas, o aumento das concentrações atmosféricas de gases de efeito estufa são previstas e podem gerar consequências para produção agrícola. Maior variabilidade climática e temperaturas médias mais altas são esperados em muitas regiões do mundo, ambas contribuindo para eventos de temperatura mais frequentes (EYSHI REZAEI et al., 2015). Temperaturas mais altas aumentam a capacidade de retenção de água pela atmosfera, podem aumentar o déficit de pressão de vapor e a demanda evaporativa da atmosfera (MARCHIN; DUNN; HOFFMANN, 2014)

Todavia, embora a temperatura tenha aumentado, em média 1,1° C globalmente, a quantidade de aquecimento não é igualmente distribuída entre as latitudes (CROUS; UDDLING; KAUWE, 2022). Prevê-se que as regiões boreais experimentem um aquecimento global mais forte que a média global (SCHLEUSSNER; PFLEIDERER; FISCHER, 2017). Estas mudanças afetarão diretamente o meio ambiente, pois o estresse térmico pode causar impactos negativos ao crescimento das plantas.

Neste quesito, os sistemas de cultivo que experimentam temperaturas médias mais altas se encontram nos trópicos e subtropicais. Entretanto, a maioria das regiões ainda não foram expostas ao calor extremo de forma sistemática.

As culturas estão cada vez mais expostas ao calor extremo, aumentando o risco de danos à produção (GOURDJI; SIBLEY; LOBELL, 2013). Outros fatores como, aumento do CO₂ e O₃ atmosférico, alterações na umidade do solo e déficit de pressão de vapor e as interações destes com aumento das temperaturas médias interferem na produção agrícola. Determinar práticas adequadas de manejo agrícola para se adaptar às mudanças climáticas com custos ambientais mais baixos é importante para a produção agrícola sustentável (ZHANG et al., 2022).

2.6. RELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA DA FOLHA E ESTRESSE HÍDRICO

A medição sem contato da temperatura da folha é frequentemente realizada através do uso de termômetros de superfície radiométrica comumente referidos como termômetros infravermelhos (MAHAN; YEATER, 2008) uma técnica não invasiva que mede ondas médias e longas e converte em temperatura (TATTERSALL, 2016).

A medida mais comum da temperatura das plantas ocorre na folha, dado o papel central das folhas no metabolismo das plantas e na ciclagem de água e energia (STILL et al., 2021). Entender os efeitos da temperatura nesta escala é fundamental para observações e respostas a diferentes manejos ou arranjos produtivos. A capacidade da planta sobreviver a condições de alta temperatura depende, em parte, de sua capacidade de reduzir a quantidade de irradiação que entra na folha e perda de água através da transpiração estomatal e epidérmica (HUGGINS et al., 2018).

A quantidade de água transpirada pela planta, precisa ser compensada pela absorção de água por suas raízes e a resposta mais antiga é a modulação da atividade fotossintética da folha (TOSCANO et al., 2018). A transpiração é impulsionada pela demanda evaporativa envolvendo o déficit de pressão de vapor, radiação, temperatura do ar e a velocidade do vento (BRÉDA et al., 2006).

O déficit de pressão de vapor (VPD) é um importante fator no funcionamento da planta e contribui na mortalidade vegetal induzida pela seca independentemente de outros fatores associados (GROSSIORD et al., 2020). Quanto aos estômatos responderem ao VDP, alguns estudos afirmam que o mecanismo que causa tal resposta pode estar relacionado com o ácido abscísico (ABA) desencadeando a resposta nas folhas, diminuindo a condutância estomatal diretamente à medida que o VDP aumenta. Outra hipótese afirma que a condutância estomatal diminui à medida que o VDP aumenta devido ao aumento da transpiração, que reduz o potencial de água na folha (BUNCE, 1997).

A temperatura afeta a vida útil da folha em todo o espaço ou no tempo (XIA et al., 2022); geralmente, a temperatura da folha segue a temperatura do ar ambiente, podendo cair ou subir devido ao equilíbrio do aquecimento radiativo e resfriamento transpiracional (WEBBER et al., 2018).

Quando as plantas estão sob estresse de seca, os estômatos fecham durante o dia para minimizar a perda de água por transpiração (SHIMAZAKI et al., 2007). O mesmo ocorre com o aumento do CO₂ resultando em diminuição da evapotranspiração e menor resfriamento do dossel (AINSWORTH; LONG, 2021). De qualquer forma, o potencial de água na folha e a condutância estomatal diminuem com o aumento do nível de estresse da água do solo (GOTO et al., 2021).

Um componente importante da troca de calor vegetal é a transferência de calor convectivo entre a superfície da folha e as condições atmosféricas circundantes, este coeficiente de transferência de calor depende em grande parte da velocidade do ar ou diferença de temperatura (ALBRECHT et al., 2020). No demais, os processos de troca de calor e massa também são afetados pela radiação recebida e condutividade térmica.

Há evidências que o aumento da concentração de CO₂ atmosférico pode diminuir a condutância estomatal, altas temperaturas das folhas também podem levar ao fechamento estomatal (DOUGHTY, 2011). Por outro lado, estudos recentes sugerem que a capacidade dos ecossistemas terrestres de amortecer as emissões antropogênicas diminuirá com o aumento da temperatura e do estresse da seca (AINSWORTH; LEMONNIER; WEDOW, 2020).

O grau de suscetibilidade ao estresse de temperatura varia de acordo com espécie, duração, intensidade e estágio de desenvolvimento. O calor extremo após o estabelecimento de mudas pode queimar folhas, prejudicar processos bioquímicos e acelerar a senescência prematura (GEANGE et al., 2021). Por outro lado, muitas plantas têm um grau de plasticidade na sensibilidade à temperatura relacionada à faixa de temperatura a que a folhagem é exposta (MERCADO et al., 2018).

Está bem estabelecido a partir de considerações de energia que a temperatura da folha varia com a evaporação das folhas, o que se dá em função da condutância estomática (JONES, 1999). Com base nisto, a termografia ativa fornece uma ferramenta poderosa no estudo das relações de água das plantas e nos processos de transferência de calor das plantas quando as condições ambientais são monitoradas simultaneamente e em alto detalhe (ALBRECHT et al., 2020). Assim, a temperatura da folha representa uma medida confiável do grau de abertura estomatal (PRYTZ; FUTSAETHER; JOHNSON, 2003).

Em comparação com um porômetro, uma câmera térmica pode ser facilmente aplicada a grandes populações de plantas. As temperaturas da superfície de uma folha e do dossel podem

ser facilmente determinadas tomando uma imagem térmica infravermelha (ISEKI; OLALEYE, 2020). A maioria das câmeras infravermelhas atualmente tem matrizes de 320x240 elementos de sensores, o que significa que mais de 75.000 leituras individuais de temperatura são registradas em uma única imagem (BERGER; PARENT; TESTER, 2010). Isso permite medições mais precisas, além de ser um método não destrutivo.

A análise térmica de imagens permite a correção automatizada das imagens, como por exemplo a eliminação de pixels representando o céu ou o solo (JONES et al., 2002). Além disso, tem o potencial de substituir as medições diretas de folhas e fornecer uma medida mais robusta do estado da água da cultura (COHEN et al., 2005).

Geralmente, a matéria ou qualquer superfície pode liberar energia como ondas eletromagnéticas através do processo de radiação (KANDEAL et al., 2021). Além disso, um corpo com temperatura maior que 0° Kelvin (zero absoluto = -273 °C) emite radiação eletromagnética na região IR do espectro (COSTA; GRANT; CHAVES, 2013).

Apesar de ser descoberta por Herschel em 1800 (BARR, 2005) a termografia infravermelha surgiu como tecnologia na década de 1960, desenvolvida pelos militares do Estados Unidos inicialmente para vigilância noturna e detecção de assinatura de calor (ROGALSKI, 2012). A importância da temperatura vegetal na agricultura foi estabelecida no final da década de 1970 (BLAD; ROSENBERG, 1976) e início da década de 1980 (IDSO, 1982; JACKSON, 1982).

Este método tem a vantagem de serem mais rápidos do que as medidas convencionais e de não interferirem nas respostas estomatais através de contatos físicos com as folhas (GUILIONI et al., 2008). A termografia infravermelha (IR), onde as medições de temperatura são feitas com câmeras de IR, provou ser uma ferramenta muito útil e amplamente utilizada na ciência biológica (HARRAP et al., 2018). Para medir IR, vários parâmetros são utilizados, dentre eles, informações do ambiente como: distância entre a câmera e o alvo, temperatura e umidade ambiental, velocidade do vento e por fim o principal, a emissividade do objeto alvo.

Aliado ao uso da termografia ativa, vários indicadores de condutância estomatal utilizando imagens térmicas foram desenvolvidos, como diferença de temperatura da folha e do ar, índice de estresse da água da cultura (CWSI), índice de condutância estomatal, desvio padrão da temperatura do dossel (CTSD) e diferença de temperatura do dossel (ISEKI; OLALEYE, 2020; LIMA et al., 2016).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área de pesquisa

O experimento foi conduzido na estação experimental Jorge Sobral (10.460°S, - 37.194°W), pertencente à Embrapa Tabuleiros Costeiros (figura 1). Os sistemas de manejo envolveram duas importantes culturas para região: milho (*Zea mays*) e soja (*Glycine max*), buscando-se o melhor sistema de cultivo quanto a capacidade de manutenção do estado hídrico das plantas frente ao regime climático local. O solo da área foi caracterizado como Latossolo Amarelo Distrocoesso, (Pronasolos, 2022), com relevo plano ou levemente ondulado e a altitude de 200 metros.



Figura 1 - Campo experimental Jorge do Prado Sobral- Embrapa Tabuleiros Costeiros – Município de Nossa Senhora das Dores -Sergipe.

3.2 Preparo da área experimental

A área experimental vem sendo conduzidas há 10 anos num delineamento estatístico em blocos ao acaso, contando com 14 tratamentos e quatro repetições.

Para o ano de 2021, foram utilizadas as cultivares de milho (*Zea mays*, DKB 363 PRO3) e soja (*Glycine max*, PP 9310), ambas de ciclo precoce. O preparo da área consistiu de uma roçagem, realizada em 15 de abril e, 19 dias após, uma pulverização com glifosato (4 L ha^{-1}). Nos tratamentos que compõem o plantio convencional, o preparo do solo foi feito com uma gradagem pesada e duas niveladoras.

A adubação de base para o milho foi de 210 kg ha^{-1} de superfosfato triplo e outra de cobertura após 21 dias do plantio, utilizando o formulado 30-00-20 (Ureia e Cloreto de potássio) na proporção de 500 kg ha^{-1} , em superfície com adubadora de 4 linhas, quando o milho apresentava ainda 4 folhas.

As sementes de soja (*Glycine max*, PP 9310) foram inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio do gênero *Rhizobium*, já para o aporte de potássio e fosforo foi realizado uma adubação química na composição de 210 kg ha^{-1} de superfosfato triplo e 150 kg ha^{-1} de cloreto de potássio baseada em análise de solo.

O plantio do milho e da soja foi realizado nos dias 25 e 26 de maio de 2021 utilizando semeadora-adubadora pneumática de quatro linhas, com regulagem de 0,50 m entre linhas. Ficando, para o milho, um estande inicial de $64\,000 \text{ plantas ha}^{-1}$ (aproximadamente 3 plantas por metro linear). Para a soja, o estande inicial foi de $365\,000 \text{ plantas ha}^{-1}$ (aproximadamente 18 plantas por metro linear). As parcelas experimentais ficaram com uma dimensão de $8 \times 40 \text{ m}$ (320 m^2), com 16 linhas de plantio, com comprimento de 40 metros.

Para as parcelas que compreendiam o consórcio do milho com *Urochloa decumbens*, a semente da *Urochloa decumbens* foi misturada com o fertilizante, com regulagem de distribuição na profundidade de 0,07 m, logo abaixo do sulco de plantio da semente de milho e após 24 dias da semeadura de ambas as culturas, foi aplicado herbicida pós emergência a base de Glifosato na proporção de 2 L ha^{-1} para controle de ervas daninhas com pulverizador acoplado ao trator. A colheita foi realizada mecanicamente e a produtividade foi calculada em Kg ha^{-1} , com grãos a 13% de umidade.

3.3 Parcelas experimentais

Para o presente estudo foram selecionados três sistemas de cultivo para milho e três para soja, sendo eles: milho cultivado em plantio direto (M-PD), milho cultivado em plantio direto, consorciado com *Urochloa decumbens* (MB-PD), milho cultivado em plantio direto, consorciado com *Urochloa decumbens* e rotacionado a cada ano com soja em plantio direto (S/MB-PD), soja cultivada em plantio convencional (S-PC), soja cultivada em plantio direto (S-PD) e soja cultivada em plantio direto, em rotação a cada ano com *Urochloa decumbens* (B/S-PD).

3.4 Obtenção e tratamento das imagens térmicas

A temperatura foliar foi obtida a partir do posicionamento do termômetro radiométrico (marca FLIR modelo E6), com detector de infravermelho de 19.200 pixels (160 x 120), campo de visão de 45° (H) e 32° (V) e comprimento de onda na faixa de 7,0 a 14 micrômetros. Segundo (Faye, Dangles, and Pincebourde 2016) a distância entre o objeto e a câmera infravermelha é um importante modificador da heterogeneidade térmica medida. Para tanto calibramos as imagens tomadas a uma distância da superfície foliar de 1,0 m para o milho e 1,5 m para a soja. A área imageada foi da ordem de 1,15 m² e 0,50 m² para o milho e para a soja, respectivamente, com um coeficiente de emissividade de 0,95.

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizados dados gerados a partir de imagens obtidas em cada tratamento, nos dias 02, 09, 16, 21 e 28 de setembro de 2021, aos 100, 107, 114, 119 e 126 dias respectivamente após o plantio (DAP), sempre no horário entre 12 e 14h e a Sol pleno (a obtenção de imagens eram suspensas em momentos de sombreamento por nuvens). Concomitantemente foram feitas 02 medidas da temperatura do ar, às 12hr e as 14hrs para cada dia de amostragem, calculando-se assim a média de temperatura do ar entre os momentos de medição da temperatura foliar. A figura 02 demonstra detalhes da câmera térmica e parte da área experimental.



Figura 2 - Termômetro infravermelho. Fonte: Do autor.

Foram geradas 120 fotografias. Posteriormente as imagens coletadas foram processadas para quantificação de temperatura nos pontos de interesse, utilizando o software FLIR TOOLS®, versão 5.13.17214.2001 (Figura 3).

De cada foto termal foram selecionados 10 pontos sobre folhas, tanto para o milho como para a soja, com área foliar mais exposta ao Sol, independentemente de serem adaxial ou abaxial. Cada ponto selecionado expressou uma amostra de temperatura foliar (T_f) e estes foram agrupados por bloco, por tratamento e por data para processamento dos dados e análise estatística. Ao final foi gerado um total de conjunto de dados com 1200 pontos de temperatura, divididos igualmente entre milho e soja.

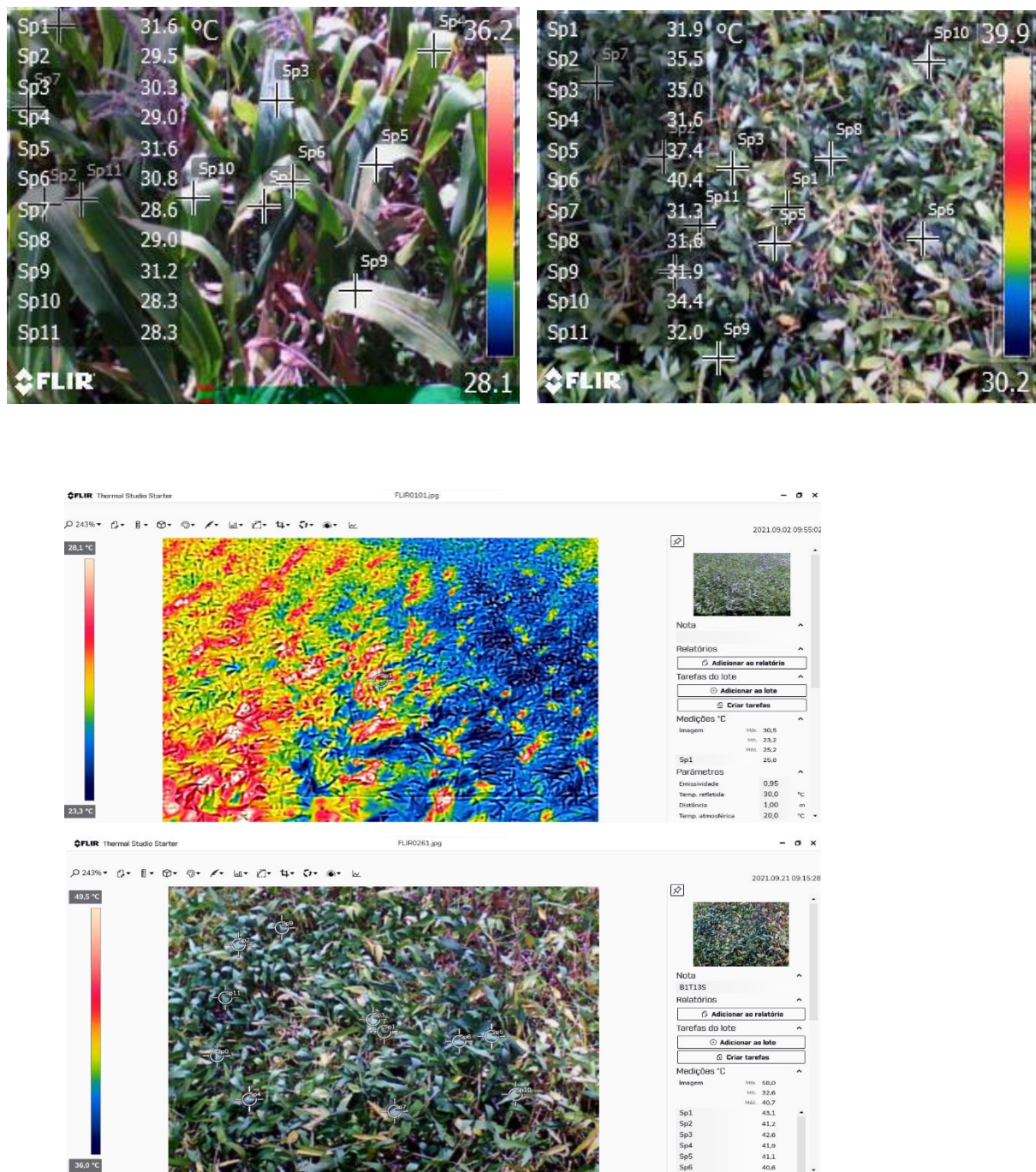


Figura 3 - Tratamento das fotografias. Fonte: Do autor.

De posse dos dados de temperaturas foliar (T_f) e temperatura do ar (T_a), foi calculado a diferença entre $T_f - T_a$ para estimativa de estresse hídrico.

Das fotografias retiradas nos dias 02, 09, 16, 21 e 28 de setembro de 2021, aos 100, 107, 114, 119 e 126 dias respectivamente após o plantio (DAP), foram excluídas as do dia 21 e 28 devido ao baixo índice de área foliar, onde as imagens estavam recebendo influencia térmica

do terreno, não sendo mais apenas temperatura foliar nos tratamentos com soja, principalmente para os tratamentos que envolviam o sistema convencional de cultivo. Já para o milho foi devido ao estágio vegetativo das folhas, já em senescência.

3.5 Obtenção dos dados meteorológicos

As condições climáticas do local do experimento foram monitoradas por estação climatológica automática (Davis Vanage Pro2) e por pluviômetro instalado no local do experimento, que forneceram dados de temperatura do ar e pluviométricos. O balanço hídrico decendial foi realizado a partir dos dados da estação meteorológica utilizando a metodologia de Thornthwaite (1955). Para estimar a evapotranspiração potencial e real foi aplicado o modelo de Hargreaves e Samani, baseado na seguinte equação:

$$ET_o = \alpha \cdot Ra(T_{max} - T_{min})^\beta (T_{med} + 17,8) \quad (\text{equação 01})$$

Em que α é um parâmetro empírico, sendo utilizado o seu valor original de 0,0023; β é um parâmetro empírico exponencial, sendo seu valor original de 0,5; Ra é a radiação solar no topo da atmosfera (mm dia^{-1}).

Os parâmetros do balanço hídrico calculados foram evapotranspiração potencial (ETP), evapotranspiração real (ER), armazenamento de água no solo (ARM), precipitação (P), deficiência hídrica (DEF) e excedente hídrico (EXC). Para o cálculo de armazenamento hídrico utilizou-se a capacidade de água disponível (CAD) como 100.

3.6 Delineamento estatístico

O delineamento experimental foi idealizado em parcelas subdivididas, onde o sistema de cultivo ficou na parcela e na subparcela a época de medida de T_f . A t_f e diferença $T_f - T_a$ foi analisada, quanto a variância entre os tratamentos, entre os blocos e no tempo, considerando a significância para $P \leq 0,05$. A T_f e diferença $T_f - T_a$ foi agrupada dentro de cada tratamento e utilizada a ANOVA para testar relações entre variáveis usando o software Sisvar (FERREIRA, 2019).

Os procedimentos usados baseavam-se na estatística clássica, utilizando-se de médias como parâmetros para representar os fenômenos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para melhor compreensão dos resultados, serão apresentados primeiramente os dados do Balanço hídrico e logo em seguida os resultados dos tratamentos envolvendo os três sistemas de cultivo para soja e logo após para o milho.

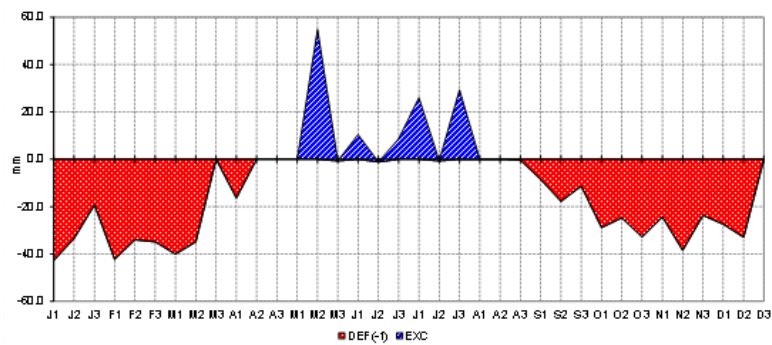
4.1 Balanço hídrico para o ano de 2021

Segundo Patto et al. (2020) o principal critério para delimitar a região Sealba é a ocorrência de chuvas em volumes iguais ou superiores a 450 mm, no período de abril a setembro, em pelo menos 50% da área total no município. Na área experimental, no igual período choveu 653 mm no ano de 2021. Entretanto, como o plantio dos grãos ocorreu no final de maio, o volume de chuva entre o plantio a colheita foi de 389 mm (Figura 4). Durante o mês de maio a início de agosto teve uma distribuição uniforme de chuvas, chegando a um excedente de chuvas variando entre 15 mm a um pouco mais de 50 mm, com diminuição das chuvas a partir de agosto.

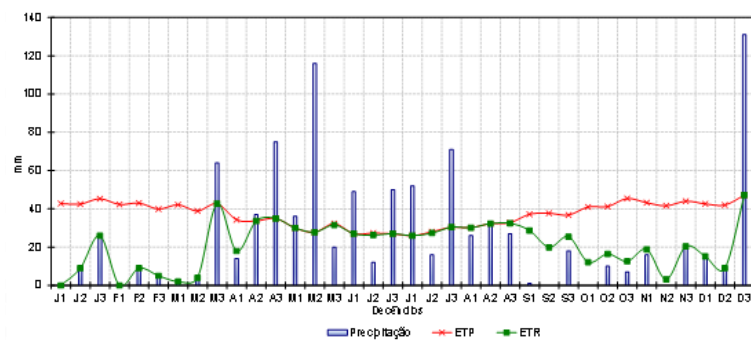
Desta forma, do plantio a colheita apenas no final do ciclo de cultivo, que a área experimental começou a sofrer um declínio nas precipitações e na capacidade de armazenamento de água do solo. Já a evapotranspiração potencial, entre os meses de maio e outubro, totalizou 660 mm, com uma média diária de 3,59 mm. A evapotranspiração real foi de 514,6 mm para o mesmo período.

Em setembro, mês de início das leituras de temperatura foliar e do ar, observou-se pelos resultados do balanço hídrico (Figura 4b) que a demanda evaporativa ocorrida aconteceu com poucos eventos de precipitação e com diminuição da capacidade de armazenamento de água no solo.

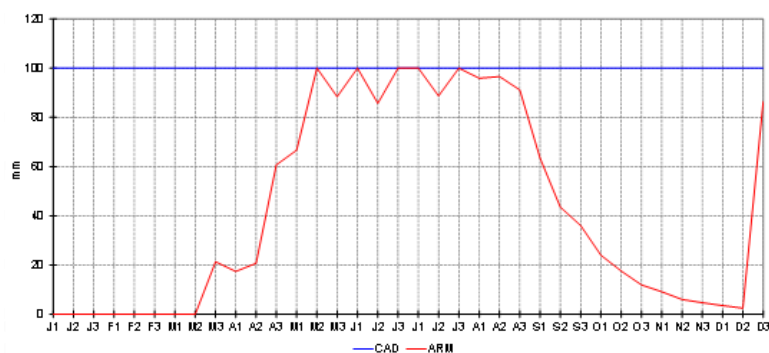
Considerando que a maior parte da água utilizada pelas plantas passa à atmosfera pela evapotranspiração, o mês de setembro apresentou baixa disponibilidade hídrica, o que interferiu no gradiente de potencial de água da folha/ar, que vem a ser maior.



a



b



c

Figura 4 - Balanço hídrico decendial (a), evapotranspiração potencial e real (b) e armazenamento de água no solo (c), ao longo do ano de 2021.

Nesse período a precipitação total foi de 19 mm, com distribuição irregular (figura 5). Com relação a evapotranspiração potencial para setembro de 2021, esta foi de 117 mm, com média diária de 3,9 mm. Já a estimativa de armazenamento de água no solo foi de 34,6 mm. Os valores de temperatura do ar oscilaram entre 19 °C a 31°C.

A temperatura do ar, a umidade do solo, a evapotranspiração, bem como a ocorrência de estiagens tem influência na fenologia das plantas, interferindo no seu metabolismo. Esses fatores citados, quando manifestados juntos são determinantes no padrão de resposta das culturas. Neste caso, sempre que a transpiração supera a velocidade de absorção de água pelas raízes, ocorre um déficit hídrico, provocando fechamento estomático, associado a elevação dos níveis do fitohormônio ácido abscísico, que aumenta com o déficit hídrico. Como consequência a uma mudança na temperatura foliar.

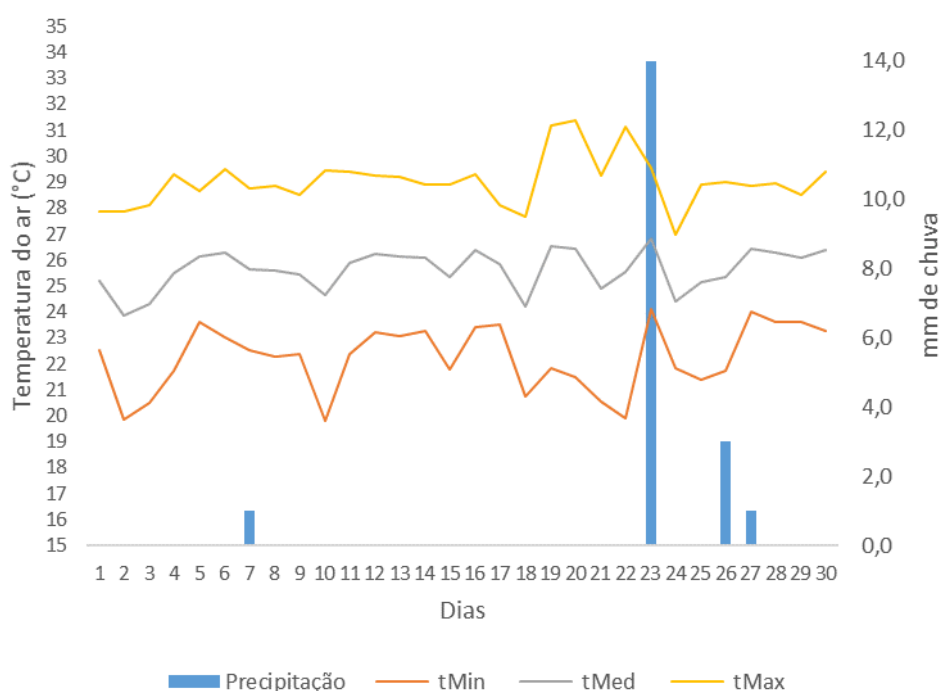


Figura 5 - Precipitação, temperatura do ar (Ta) para o mês de setembro de 2021.

4.2 Temperatura foliar da soja.

Do ponto de vista da termodinâmica a temperatura é uma variável indicativa de diversos fatores, entre eles de estresse abiótico. Neste estudo observamos que as imagens resultantes do termômetro infravermelho (TIR) permitiram capturar num dado instante uma heterogeneidade na temperatura média foliar entre os tratamentos.

A partir dos resultados apresentados na figura 6, verificou-se a diferença de Tf entre os tratamentos, fornecendo evidências fisiológicas de que a temperatura foliar responde de forma diferente à seca em cada sistema de cultivo. Este comportamento de Tf foi observado no dia 02/09/21, onde a imagem da esquerda tem sua correspondente termal à direita. O tratamento

B/S-PD (figura 6C), quando comparado aos demais tratamentos (figura 6A e 6B), apresentou menor temperatura foliar (Tf), com uma diferença de aproximadamente 2°C.

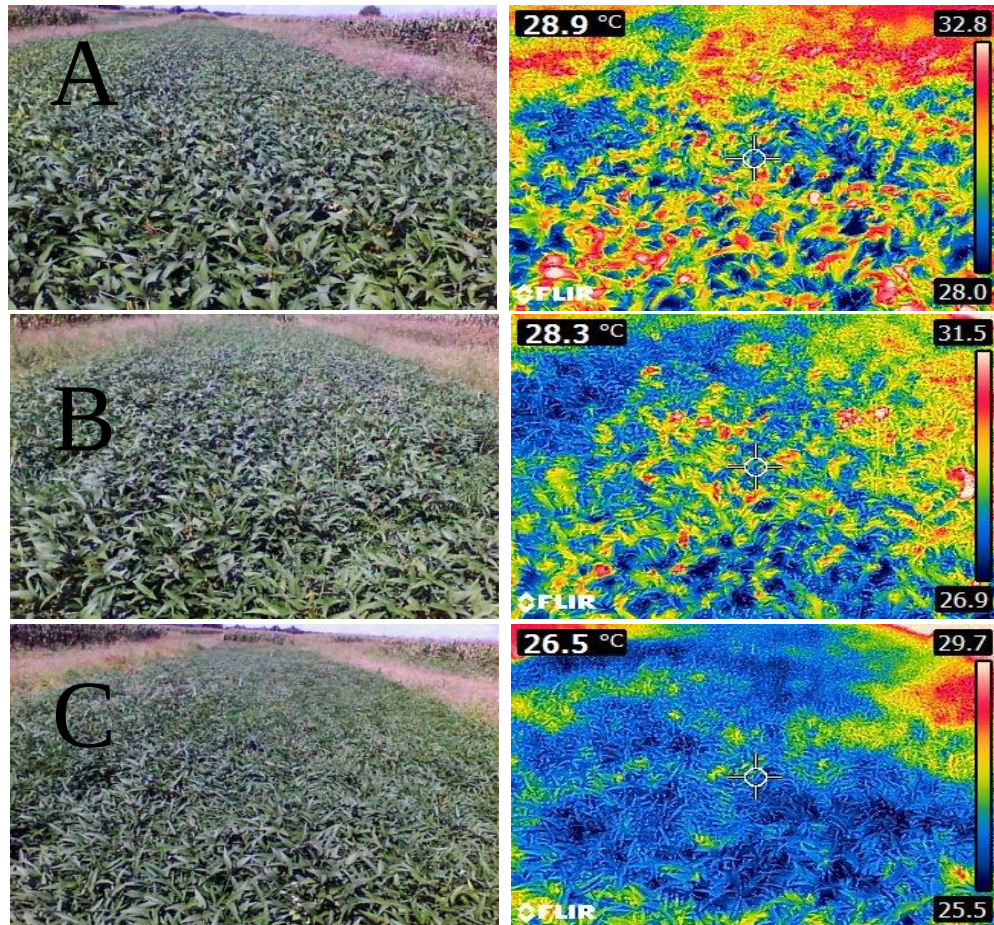


Figura 6 - Imagem térmica obtida no dia 02/09/2021, representando as parcelas experimentais de soja: S-PC (A), S-PD (B) e B/S-PD (C). A imagem da direita corresponde a foto termal da foto da esquerda. Fonte: Do autor

Ao passo que a temperatura da superfície foliar depende de fatores ambientais e do resfriamento transpiracional foi possível observar uma variação temporal de Tf entre os sistemas de cultivo.

Nos resultados apresentados na figura 7, observamos que a temperatura do ar (Ta) variou nas três épocas de leitura, com um aumento de 26,8° C a 28,2°C. Este aumento também foi observado quanto a Tf nos três tratamentos, com variações entre si. A medida em que a Ta aumentou a Tf também aumentou, com variações deste comportamento entre os tratamentos.

Os tratamentos que envolveram o plantio direto (S-PD e B/S-PD), mantiveram-se com uma tendência de T_f sempre menor quando comparado a S-PC, a exceção de S-PD para a última data de leitura, o que pode ser explicado a diminuição do índice de área foliar com o avanço do estágio vegetativo. O tratamento S-PD também apresentou oscilação de temperatura entre as três épocas, o que pode ser explicado a pouca cobertura do solo com palha quando comparado com o B/S-PD, que manteve-se com menor oscilação de T_f entre as épocas. Por outro lado, o tratamento B/S-PD em todas as épocas apresentou menor T_f quando comparado com S-PC, o que corrobora com Kumar et al. (2012) quando diz que práticas de plantio direto melhoram a retenção de água, a distribuição dos poros em comparação as práticas de que envolvem o plantio mínimo e a o plantio convencional.

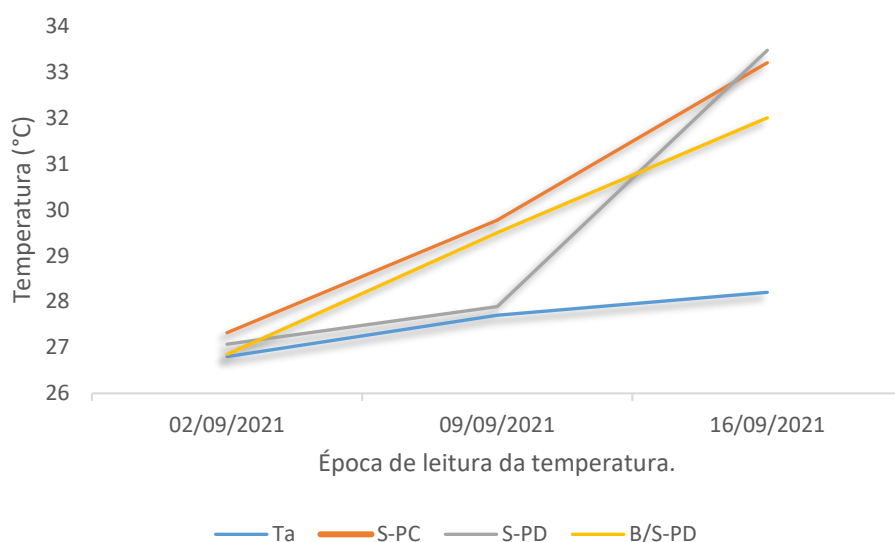


Figura 7 - Relação entre a Temperatura do ar (T_a) e foliar (T_f) da soja em três sistemas de cultivo.

JONES (1999), em seus estudos concluiu que a temperatura foliar varia com a evaporação das folhas, o que se dá em função da condutância estomática, onde um leve déficit hídrico pode provocar o fechamento dos estômatos. Porém, sobre a superfície da folha, algumas áreas mantêm os estômatos abertos, para manutenção da atividade fotossintética. Neste sentido, os tratamentos com plantio direto (S-PD) e plantio direto com rotação (B/S-PD) apresentaram uma capacidade maior em manter a T_f mais homogêneo, o que implica que as folhas continuam evapotranspirando, mesmo sob estresse hídrico.

Constatamos no desdobramento da análise de variância para a época 09/09/21, que houve diferença entre os tratamentos pelo teste Tukey a 5% (tabela 1). Entretanto, o tratamento B/S-PD apresentou para as três épocas de leitura menor Tf, quando comparado com o tratamento S-PC e em duas épocas quando comparado com S-PD. Além de apresentar um comportamento com menor oscilação de Tf quando comparado ao S-PD. Estes resultados coincidem com os de produtividade, apresentados na tabela 1, onde o rendimento dos grãos foi maior para o tratamento B/S-PD (3,541 Kg ha⁻¹), seguido do S-PC (3,348 Kg ha⁻¹) e por fim os S-PD (2,722 Kg ha⁻¹).

Tratamentos	Tf no dia 09/09/21	Colheita
	°C	Kg ha ⁻¹
S-PC	29,77a	3.348a
S-PD	27,89b	2.722b
B/S-PD	29,50a	3.541a
CV (%)	6,07	7,05

Tabela 1 - Resumo ANOVA para temperatura foliar e colheita da soja.

4.3 Diferença de temperatura entre a folha (Tf) e o ar (Ta) para soja.

Para a diferença de temperatura folha/ar (Tf-Ta), esta apresentou variação entre os sistemas de cultivo e também em épocas diferentes de leitura de temperatura (Figura 8).

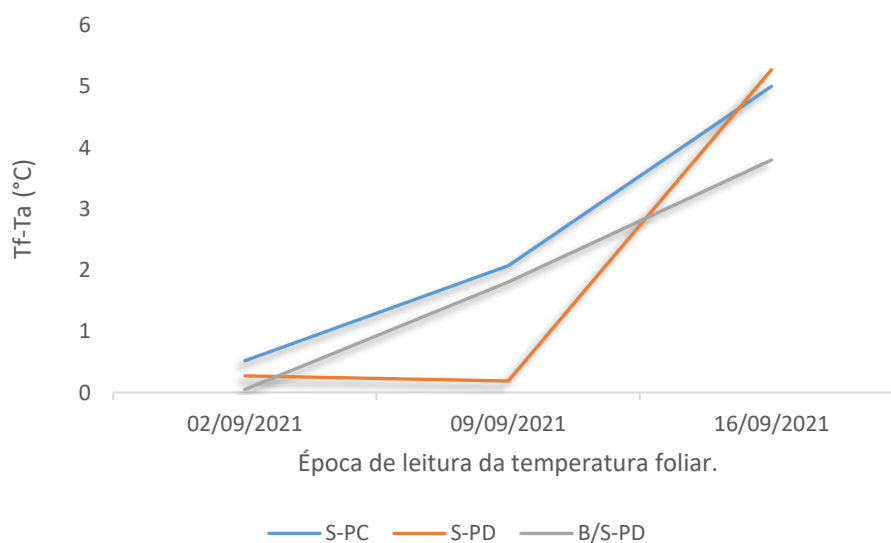


Figura 8 - Diferença Tf-Ta em diferentes sistemas de cultivo.

Como o processo de transpiração está relacionado a T_f - T_a , este valor é menor à medida que ocorre transferência de energia da planta para o ar na forma de calor latente, através da folha. Constatamos que os menores valores de T_f - T_a foram para o tratamento B/S-PD, quando comparados com o tratamento S-PC, em todas as épocas de leitura de T_f , mesmo com aumento da T_a . Quando comparamos S-PC com S-PD, a diferença de temperatura folhar/ar foi menor para S-PC apenas na última época de leitura, indicando que apenas o plantio direto não é suficiente para manter a resiliência hídrica do solo, evidenciando a importância da rotação de cultura. Já quando comparamos os resultados de S-PD com B/S-PD observamos que em apenas uma época os valores de T_f - T_a foram menores para S-PD (09/09/21).

Os resultados apresentados na tabela 2, mostram que o tratamento S-PC apresentou os maiores valores de T_f máximo entre os tratamentos em todas as épocas, bem como os maiores valores de amplitude térmica de T_f , também para todas as épocas e entre os tratamentos.

ÉPOCA	Máxima (°C)			Média (°C)			Mínima (°C)			Amplitude (°C)		
	S-PC	S-PD	B/S-PD	S-PC	S-PD	B/S-PD	S-PC	S-PD	B/S-PD	S-PC	S-PD	B/S-PD
02/09/2021	32,20	31,10	28,50	27,32	27,07	26,8	23,9	24,4	25,9	8,3	6,7	2,6
09/09/2021	40,00	31,30	32,90	29,8	27,9	29,5	26,1	25,1	27,4	13,9	6,2	5,5
16/09/2021	37,80	36,20	35,70	33,2	33,5	32	29,1	31,3	28,4	8,7	4,9	7,3

Tabela 2 - Temperatura foliar máxima, média, mínima e amplitude da soja.

A amplitude térmica de T_f para S-PC foi de 8,3 °C no dia 02/09/21; 13,9 ° C no dia 09/09/21 e 8,7°C no dia 16/09/21 e os menores valores de amplitude foram para o tratamento B/S-PD, seguido do S-PD.

Quando uma planta está sobre estresse hídrico, as mudanças no fechamento estomático são mais sensíveis e rápidas do que o potencial hídrico e o teor de água foliar (Socias et al. 1997). Ou seja, independente da T_f média, os valores de amplitude demonstraram que os tratamentos que envolvem plantio direto quando comparados ao plantio convencional mantêm uma maior quantidade de plantas com atividade evapotranspirativa, mesmo sob estresse de seca.

Observamos que como o tratamento S-PC não possui palhada sobre o solo, onde qualquer variação na radiação solar para mais, implicou no ressecamento superficial do solo, o que reflete no fechamento dos estômatos para manutenção da conservação da água a nível celular e por conseguinte aumento da T_f .

Sabemos que um ligeiro dessecamento do solo, mesmo que ainda não afete as relações

hídricas da parte aérea, causará um aumento na concentração de ABA no xilema, provavelmente produzido no meristema sob a coifa das raízes, induzindo na folha o fechamento estomático e a diminuição da expansão foliar (DAVIES et al, 1990), refletindo este fechamento de estômatos em aumento da temperatura foliar.

Segundo MERCADO et al., (2018) em escalas de tempo curtas (dias, meses, até estações), as plantas podem ajustar seu ótimo térmico fotossintético para permitir uma fotossíntese mais eficiente, promovendo maior plasticidade na sensibilidade à temperatura relacionada à faixa de temperatura a que a folhagem é exposta.

Este comportamento é chamado de “homeotermia foliar”, quando as folhas regulam suas temperaturas para permanecerem mais frias do que o ar, além de uma temperatura cruzada e, assim, mitigam os impactos da alta temperatura na função da planta. (Michaletz et al., 2015, 2016; Dong et al., 2017; Blonder e Michaeltz, 2018).

4.4 Temperatura foliar em sistemas de cultivo de milho

As imagens apresentadas na figura 9 são uma sequência de fotos tiradas no dia 02/09/21, demonstrando o cultivo de milho em três sistemas de manejo. Em cada imagem coletada, observamos sua correspondente térmica à direita. Percepções conceituais sobre comportamento térmico foram obtidas examinando cada imagem separadamente, estas imagens forneceram valores de temperatura foliar que nos permitiram explorar os efeitos da exposição das plantas aos fatores de estresse. Os espectros de refletância da superfície das folhas foram medidos e as medidas de temperatura obtidas foram confiáveis para comparação da T_f entre os tratamentos.

A tolerância ao déficit hídrico é um fenômeno e é influenciado por diversos fatores, dentre eles os fatores ambientais e suas interações (Estomática et al. 2012). Com a diminuição da água do solo disponível às plantas, a folha é o primeiro órgão vegetal a capitar um possível estresse. Neste estudo, a termografia por infravermelho pôde capturar estas variações de T_f entre os tratamentos.

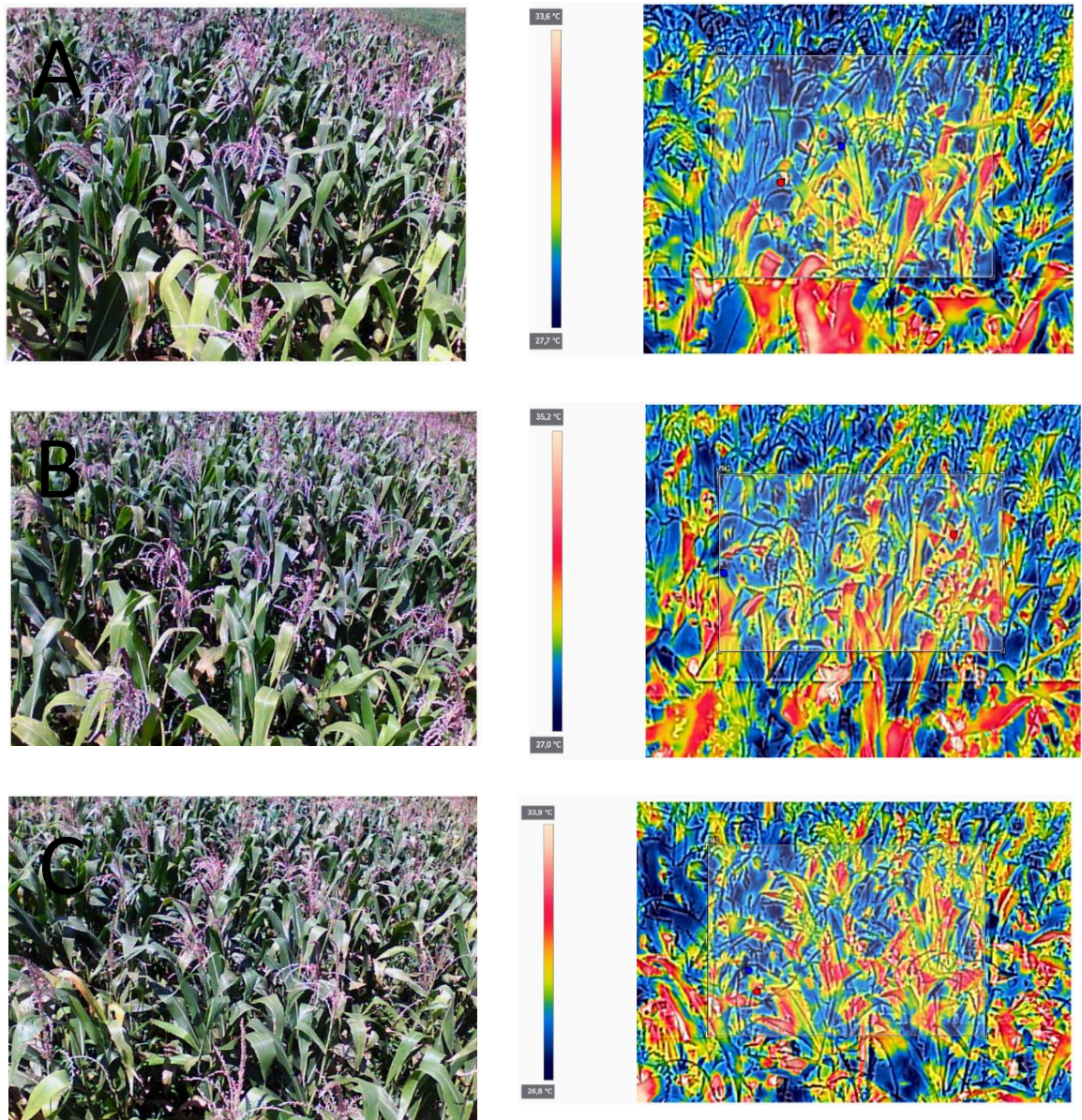


Figura 9 - Fotografia, retirada no dia 02/09/2021, representando as parcelas experimentais de milho: M-PD (A), MB-PD (B) e S/MB-PD (C). Fonte: Do autor.

Nos resultados apresentados na figura 10, observamos que ao longo do tempo ocorreu uma variação da temperatura foliar do milho nas diferentes épocas de leitura. Esta variação pode ser explicada pelo aumento da temperatura do ar, progressiva diminuição no armazenamento de água do solo e a ausência de chuvas no mês de setembro, onde a medida em que aumentava a estiagem a diferença entre os tratamentos se tornavam mais evidente. No dia 02/09/21, com T_a de 26,8 o tratamento M-PD teve T_f médio menor entre os tratamentos. No dia 09/09/21, com T_a de 27,7 °C e no dia 16/09/21, com T_a de 28,2 °C o S/MB-PD apresentou T_f inferior aos demais tratamentos.

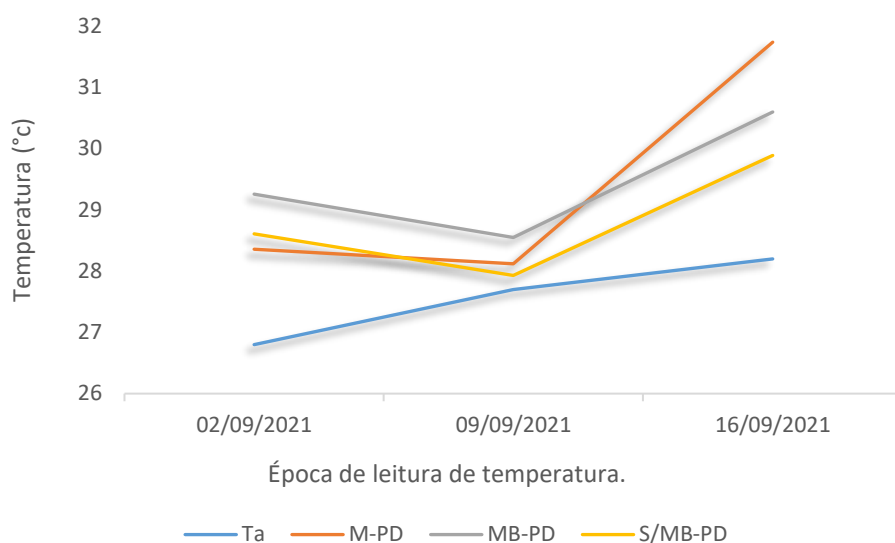


Figura 10 - Relação entre a Temperatura do ar (Ta) e foliar (Tf) do milho em três sistemas de cultivo.

Observamos que quando as condições agroclimatológicas se tornam mais severas às plantas, provocando o estresse hídrico, o tratamento S/MB-PD apresentou uma diferença estatisticamente significativa, quanto a temperatura foliar, quando comparado aos demais tratamentos. No dia 16/09/21 (tabela 3), o tratamento M-PD e MB-PD apresentaram, respectivamente maiores valores de Tf, possivelmente decorrente da consequência da estiagem prolongada, já que neste dia o experimento já estava há 16 dias sem precipitações pluviométricas. Neste caso, todos os tratamentos estavam sob as mesmas condições agrometeorológicas, entretanto quando os fatores abióticos que provocam o estresse hídrico se tornaram mais evidentes, os sistemas mais conservacionistas promoveram a continuidade na manutenção da evapotranspiração foliar, de forma que as plantas que foram cultivadas sob estes sistemas, sofreram menos ao estresse hídrico.

Vários outros autores encontraram que os efeitos das práticas de conservação levaram a um impacto positivo na disponibilidade de água para as plantas (RUSU, 2014). No nosso estudo a rotação de cultura se mostrou eficiente na manutenção da resiliência hídrica das plantas frente aos fatores que provocam o estresse hídrico.

Quanto a produtividade entre os sistemas de cultivo, não ocorreu diferença significativa (tabela 3), o que pode ser explicado pelo regime pluviométrico do ano de 2021, que foi de 997 mm, superior a necessidade hídrica para o cultivo do milho. Ou seja, apesar de ser identificado momentos de estresse hídrico pelas plantas, este não representou prejuízo à produtividade.

Tratamentos	Tf no dia 16/09/21	Colheita
	°C	Kg ha ⁻¹
M-PD	31,75a	6.931a
MB-PD	30,60ab	6.644a
S/MB-PD	29,89b	6.733a
CV (%)	5,99	8,66

Tabela 3 - Resumo ANOVA para temperatura foliar e colheita do milho.

4.5 Diferença de temperatura entre a folha (Tf) e o ar (Ta) para milho.

A precipitação pluviométrica total para o mês de agosto foi 86 mm, encerrando o mês com 15 mm de chuva. Com esta condição, a Tf-Ta apresentada no dia 02/09/21 foi menor para o tratamento M-PD, seguido por S/MB-PD e depois BM-PD. Sendo que este último apresentou maior estresse hídrico. Como setembro foi um mês com baixa precipitação pluviométrica e caracterizado pela diminuição do armazenamento da água do solo a diferença de Tf-Ta entre os tratamentos apresentou variação entre as épocas. Nas duas últimas épocas de leitura de temperatura, o tratamento S/BM-PD apresentou menor Tf-Ta, quando comparado aos demais tratamentos, ou seja, as plantas sob o sistema de cultivo que envolve a rotação de cultura mantiveram sua taxa de transpiração foliar (figura 11) mesmo com aumento dos fatores ambientais de estresse.

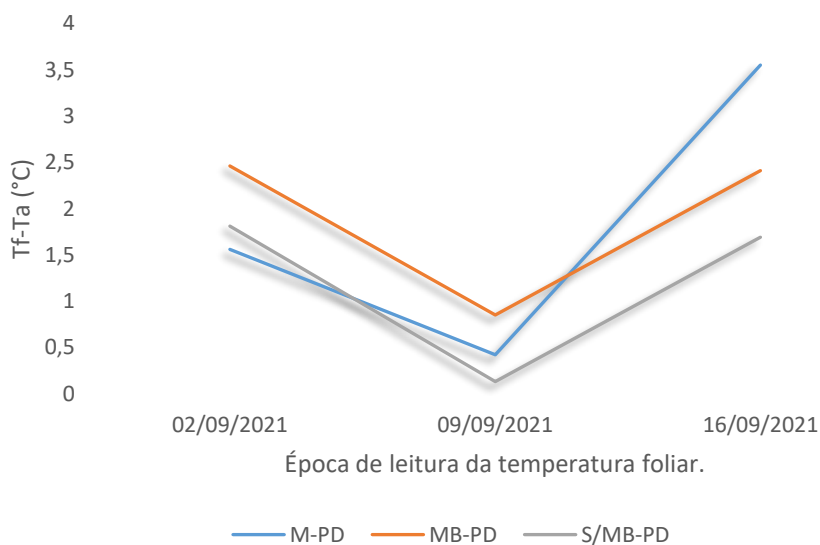


Figura 11 - Diferença Tf-Ta em diferentes sistemas de cultivo.

Observamos também, que no dia 16/09/09 com o aumento no declínio na capacidade de armazenamento de água no solo e já com vários dias sem eventos de chuva na área experimental, o tratamento apenas com plantio direto apresentou maior T_f-T_a quando comparado aos demais, ou seja, maior estresse hídrico. Já os tratamentos que compõem os sistemas de cultivo com consórcio e rotação de cultura apresentaram menor estresse hídrico, com menores valores para o S/MB-PD. Desta forma, podemos inferir que o consorcio e a rotação de cultura promove maior resiliência hídrica do solo, tornando-se um excelente componente para manutenção da água disponível às plantas.

Quando a T_a chegou a $28,2^{\circ}\text{C}$, a diferença da temperatura folha/ar foi de $3,55^{\circ}\text{C}$ para o tratamento M-PD, $2,41^{\circ}\text{C}$ para MB-DP e $1,69^{\circ}\text{C}$ para S/BM-PD. O que corrobora com os estudo de Blonder and Michaletz 2018, quando afirma que ambientes com alta T_a , as folhas modificam os mecanismos de regulação de condutância estomática, a fim de evitar a mortalidade.

Defraeye et al. 2013, em sua pesquisa afirmou que o calor convectivo e a troca de massa das folhas com o ambiente são relevantes para uma melhor compreensão do processo fisiológicos das plantas em resposta a fatores ambientais. Em nossa pesquisa, constatamos que, sob as mesmas condições edafoclimáticas e submetidas a estresse hídrico, as plantas de milho mantiveram o resfriamento transpiracional, quando estas foram cultivadas em plantio direto, consorciado com a braquiária *Urochloa decumbens* e rotacionada com a soja em plantio direto.

5. CONCLUSÃO

A soja plantada em sistema de plantio direto, rotacionada com *Urochloa decumbens* e o milho plantado em sistema de plantio direto, consorciado com *Urochloa decumbens* e rotacionado com soja em plantio direto a longo prazo, modificaram as propriedades hidráulicas do solo e promoveram um maior armazenamento de água em seu perfil.

O plantio direto com rotação de cultura para a soja e o plantio direto com consorcio e a rotação de cultura para o milho apresentaram menor oscilação do processo de transpiração dos cultivos e proporcionaram maior resiliência hídrica frente aos fatores de estresse abiótico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABID, M.; LAL, R. Tillage and drainage impact on soil quality: II. Tensile strength of aggregates, moisture retention and water infiltration. **Soil and Tillage Research**, v. 103, n. 2, p. 364–372, 1 maio 2009.
- AINSWORTH, E. A.; LEMONNIER, P.; WEDOW, J. M. The influence of rising tropospheric carbon dioxide and ozone on plant productivity. **Plant Biology**, v. 22, n. S1, p. 5–11, 1 jan. 2020.
- AINSWORTH, E. A.; LONG, S. P. 30 years of free-air carbon dioxide enrichment (FACE): What have we learned about future crop productivity and its potential for adaptation? **Global Change Biology**, v. 27, n. 1, p. 27–49, 1 jan. 2021.
- AJAYI, A. E. et al. Long-term no tillage management impact on soil hydro-physical properties in coffee cultivation. **Geoderma**, v. 404, p. 115306, 15 dez. 2021.
- AKHTAR, K. et al. Changes in soil enzymes, soil properties, and maize crop productivity under wheat straw mulching in Guanzhong, China. **Soil and Tillage Research**, v. 182, p. 94–102, 1 out. 2018.
- ALBRECHT, H. et al. Quantitative Estimation of Leaf Heat Transfer Coefficients by Active Thermography at Varying Boundary Layer Conditions. **Frontiers in Plant Science**, v. 10, p. 1684, 21 jan. 2020.
- ALESSO, C. A. et al. Spatial variability of short-term effect of tillage on soil penetration resistance. <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1532076>, v. 65, n. 6, p. 822–832, 12 maio 2018.
- ALLEN, D. E.; SINGH, B. P.; DALAL, R. C. Soil Health Indicators Under Climate Change: **A Review of Current Knowledge**. p. 25–45, 2011.
- ÁLVARO-FUENTES, J. et al. Tillage and cropping intensification effects on soil aggregation: Temporal dynamics and controlling factors under semiarid conditions. **Geoderma**, v. 145, n. 3–4, p. 390–396, 15 jun. 2008.

AMAMI, R. et al. Impacts of Different Tillage Practices on Soil Water Infiltration for Sustainable Agriculture. **Sustainability** 2021, Vol. 13, Page 3155, v. 13, n. 6, p. 3155, 13 mar. 2021.

AUTRET, B. et al. Alternative arable cropping systems: A key to increase soil organic carbon storage? Results from a 16 year field experiment. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 232, p. 150–164, 16 set. 2016.

AUTRET, B. et al. Similar specific mineralization rates of organic carbon and nitrogen in incubated soils under contrasted arable cropping systems. **Soil and Tillage Research**, v. 204, p. 104712, 1 out. 2020.

BAKKER, M. M. et al. Soil erosion as a driver of land-use change. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 105, n. 3, p. 467–481, 1 fev. 2005.

BALWINDER-SINGH et al. Growth, yield and water productivity of zero till wheat as affected by rice straw mulch and irrigation schedule. **Field Crops Research**, v. 121, n. 2, p. 209–225, 18 mar. 2011.

BARR, E. S. Historical Survey of the Early Development of the Infrared Spectral Region. **American Journal of Physics**, v. 28, n. 1, p. 42, 20 jul. 2005.

BARRETO, R. C. et al. The impact of soil management on aggregation, carbon stabilization and carbon loss as CO₂ in the surface layer of a Rhodic Ferralsol in Southern Brazil. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 132, n. 3–4, p. 243–251, 1 ago. 2009.

BAUDRON, F. et al. Where to Target Conservation Agriculture for African Smallholders? How to Overcome Challenges Associated with its Implementation? Experience from Eastern and Southern Africa. **Environments** 2015, Vol. 2, Pages 338-357, v. 2, n. 3, p. 338–357, 6 jul. 2015.

BAVEYE, P. C. et al. From Dust Bowl to Dust Bowl: Soils are Still Very Much a Frontier of Science. **Soil Science Society of America Journal**, v. 75, n. 6, p. 2037–2048, 1 nov. 2011.

BAVEYE, P. C.; BAVEYE, J.; GOWDY, J. Soil “ecosystem” services and natural capital: Critical appraisal of research on uncertain ground. **Frontiers in Environmental Science**, v. 4, n. JUN, p. 41, 7 jun. 2016.

BERGER, B.; PARENT, B.; TESTER, M. High-throughput shoot imaging to study drought responses. **Journal of Experimental Botany**, v. 61, n. 13, p. 3519–3528, 1 ago. 2010.

BLAD, B. L.; ROSENBERG, N. J. Measurement of Crop Temperature by Leaf Thermocouple, Infrared Thermometry and Remotely Sensed Thermal Imagery¹. **Agronomy Journal**, v. 68, n. 4, p. 635–641, 1 jul. 1976.

BLANCO-CANQUI, H. et al. Addition of Cover Crops Enhances No-Till Potential for Improving Soil Physical Properties. **Soil Science COSiety of America Journal**, v. 75, n. 4, p. 1471–1482, 1 jul. 2011.

BLANCO-CANQUI, H.; STONE, L. R.; STAHLMAN, P. W. Soil Response to Long-Term Cropping Systems on an Argiustoll in the Central Great Plains. **Soil Science COSiety of America Journal**, v. 74, n. 2, p. 602–611, 1 mar. 2010.

Blonder, Benjamin, and Sean T. Michaletz. 2018. “Agricultural and Forest Meteorology A Model for Leaf Temperature Decoupling from Air Temperature.” **Agricultural and Forest Meteorology** 262(July):354–60. doi: 10.1016/j.agrformet.2018.07.012.

BOWD, E. J. et al. Disturbance alters the forest soil microbiome. **Molecular Ecology**, v. 31, n. 2, p. 419–447, 1 jan. 2022.

BRÉDA, N. et al. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. **Annals of Forest Science**, v. 63, n. 6, p. 625–644, 1 set. 2006.

BRIEDIS, C. et al. Can highly weathered soils under conservation agriculture be C saturated? **CATENA**, v. 147, p. 638–649, 1 dez. 2016.

BROWN, V. et al. Efeitos no solo e nas culturas após vinte anos de cultivo convencional e semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 13, n. 1, p. 1–7, 31 mar. 2018.

BRUUN, T. B. et al. Organic Carbon Dynamics in Different Soil Types After Conversion of Forest to Agriculture. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 3, p. 272–283, 1 abr. 2015.

BUNCE, J. A. Does transpiration control stomatal responses to water vapour pressure deficit? **Plant, Cell & Environment**, v. 20, n. 1, p. 131–135, 1 jan. 1997.

BÜNEMANN, E. K. et al. Soil quality – A critical review. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 120, p. 105–125, 1 maio 2018.

CAICEDO-LOPEZ, L. H. et al. Effect of hydric stress-related acoustic emission on transcriptional and biochemical changes associated with a water deficit in *Capsicum annuum* L. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 165, p. 251–264, 1 ago. 2021.

CASTELLINI, M. et al. Effects of No-Tillage and Conventional Tillage on Physical and Hydraulic Properties of Fine Textured Soils under Winter Wheat. **Water** 2019, Vol. 11, Page 484, v. 11, n. 3, p. 484, 7 mar. 2019.

CHANEY, N. W. et al. POLARIS Soil Properties: 30-m Probabilistic Maps of Soil Properties Over the Contiguous United States. **Water Resources Research**, v. 55, n. 4, p. 2916–2938, 1 abr. 2019.

COHEN, Y. et al. Estimation of leaf water potential by thermal imagery and spatial analysis. **Journal of Experimental Botany**, v. 56, n. 417, p. 1843–1852, 1 jul. 2005.

CONGREVES, K. A. et al. Long-term impact of tillage and crop rotation on soil health at four temperate agroecosystems. **Soil and Tillage Research**, v. 152, p. 17–28, 1 set. 2015.

COSTA, J. M.; GRANT, O. M.; CHAVES, M. M. Thermography to explore plant–environment interactions. **Journal of Experimental Botany**, v. 64, n. 13, p. 3937–3949, 1 out. 2013.

CROUS, K. Y.; UDDLING, J.; KAUWE, M. G. DE. Temperature responses of photosynthesis and respiration in evergreen trees from boreal to tropical latitudes. **New Phytologist**, 30 jan. 2022.

DA SILVA, F. R. et al. Physical Properties of a Hapludox after Three Decades under Different Soil Management Systems. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 40, 26 abr. 2016.

DAVIES, W.J., MANSFIELD, T.A. and HETHERINGTON, A.M. (1990), **Sensing of soil water status and the regulation of plant growth and development**. *Plant, Cell & Environment*, 13: 709-719. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.1990.tb01085.x>

DE ALMEIDA, W. S. et al. Effect of soil tillage and vegetal cover on soil water infiltration. **Soil and Tillage Research**, v. 175, p. 130–138, 1 jan. 2018.

DE FREITAS, M. A. M. et al. Biological attributes of soil cultivated with corn intercropped with *Urochloa brizantha* in different plant arrangements with and without herbicide application. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 254, p. 35–40, 15 fev. 2018.

DE MORAES SÁ, J. C. et al. Carbon Depletion by Plowing and its Restoration by No-Till Cropping Systems in Oxisols of Subtropical and Tropical Agro-Ecoregions in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 26, n. 6, p. 531–543, 1 ago. 2015.

DE OLIVEIRA FERREIRA, A. et al. Comparing on-farm and long-term research experiments on soil carbon recovery by conservation agriculture in Southern Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 11, p. 3365–3376, 15 jul. 2021.

DE OLIVEIRA FERREIRA, A. et al. Driving factors of soil carbon accumulation in Oxisols in long-term no-till systems of South Brazil. **Science of The Total Environment**, v. 622–623, p. 735–742, 1 maio 2018.

Defraeye, Thijs, Pieter Verboven, Quang Tri Ho, and Bart Nicolai. 2013. “Convective Heat and Mass Exchange Predictions at Leaf Surfaces: Applications, Methods and Perspectives.” **Computers and Electronics in Agriculture** 96:180–201. doi: 10.1016/J.COMPAG.2013.05.008.

DEWAR, R. et al. New insights into the covariation of stomatal, mesophyll and hydraulic conductances from optimization models incorporating nonstomatal limitations to photosynthesis. **New Phytologist**, v. 217, n. 2, p. 571–585, 1 jan. 2018.

DOS SANTOS SOARES, D. et al. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104316, 1 nov. 2019.

DOUGHTY, C. E. An In Situ Leaf and Branch Warming Experiment in the Amazon. **Biotropica**, v. 43, n. 6, p. 658–665, 1 nov. 2011.

Estomática, Resposta, A. O. Déficit, D. E. Pressão D. E. Vapor, D. Água Um, Assunto Ainda, E. M. Debate, and A. Nereu. 2012. “STOMATAL RESPONSE TO WATER VAPOR PRESSURE DEFICIT: AN UNSOLVED ISSUE.” **Current Agricultural Science and Technology** 9(4):317–22. doi: 10.18539/cast.v9i4.649.

EYSHI REZAEI, E. et al. Heat stress in cereals: Mechanisms and modelling. **European Journal of Agronomy**, v. 64, p. 98–113, 1 mar. 2015.

Faye, E., O. Dangles, and S. Pincebourde. 2016. “Distance Makes the Difference in Thermography for Ecological Studies.” *Journal of Thermal Biology* 56:1–9. doi: 10.1016/j.jtherbio.2015.11.011.

FERREIRA, Daniel Furtado. SISVAR: **A computer analysis system to fixed effects split plot type designs**. *revista brasileira de biometria*, [S.l.], v. 37, n. 4, p. 529-535, dec. 2019. ISSN 1983-0823. Available at: <http://www.biometria.ufra.br/index.php/BBJ/article/view/450>>. Date accessed: 10 feb. 2020. doi: <https://doi.org/10.28951/rbb.v37i4.450>.

FRANZLUEBBERS, A. J. Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth. **Soil and Tillage Research**, v. 66, n. 2, p. 197–205, 1 jul. 2002.

FU, P.; RICH, P. M. A geometric solar radiation model with applications in agriculture and forestry. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 37, n. 1–3, p. 25–35, 1 dez. 2002.

GEANGE, S. R. et al. The thermal tolerance of photosynthetic tissues: a global systematic review and agenda for future research. **New Phytologist**, v. 229, n. 5, p. 2497–2513, 1 mar. 2021.

Giller, Ken E., Ernst Witter, Marc Corbeels, and Pablo Tittonell. 2009. “Conservation Agriculture and Smallholder Farming in Africa: The Heretics’ View.” *Field Crops Research* 114(1):23–34. doi: 10.1016/J.FCR.2009.06.017.

Giller, Ken E., Ernst Witter, Marc Corbeels, and Pablo Tittonell. 2009. “Conservation Agriculture and Smallholder Farming in Africa: The Heretics’ View.” *Field Crops Research* 114(1):23–34. doi: 10.1016/J.FCR.2009.06.017.

GOTO, K. et al. Response of leaf water potential, stomatal conductance and chlorophyll content under different levels of soil water, air vapor pressure deficit and solar radiation in chili pepper (*Capsicum chinense*). **Scientia Horticulturae**, v. 281, p. 109943, 30 abr. 2021.

GOURDJI, S. M.; SIBLEY, A. M.; LOBELL, D. B. Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. **Environmental Research Letters**, v. 8, n. 2, p. 024041, 13 jun. 2013.

GOWING, J. W.; PALMER, M. Sustainable agricultural development in sub-Saharan Africa: the case for a paradigm shift in land husbandry. **Soil Use and Management**, v. 24, n. 1, p. 92–99, 1 mar. 2008.

GROSSIORD, C. et al. Plant responses to rising vapor pressure deficit. **New Phytologist**, v. 226, n. 6, p. 1550–1566, 1 jun. 2020.

GUILIONI, L. et al. On the relationships between stomatal resistance and leaf temperatures in thermography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 148, n. 11, p. 1908–1912, 1 out. 2008.

HAMMAD, H. M. et al. Carbon sequestration potential and soil characteristics of various land use systems in arid region. **Journal of Environmental Management**, v. 264, p. 110254, 15 jun. 2020.

HARKES, P. et al. Conventional and organic soil management as divergent drivers of resident and active fractions of major soil food web constituents. **Scientific Reports 2019 9:1**, v. 9, n. 1, p. 1–15, 18 set. 2019.

HARRAP, M. J. M. et al. Reporting of thermography parameters in biology: a systematic review of thermal imaging literature. **Royal COSiety Open Science**, v. 5, n. 12, 1 dez. 2018.

HENNERON, L. et al. Fourteen years of evidence for positive effects of conservation agriculture and organic farming on soil life. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 35, n. 1, p. 169–181, 1 jan. 2015.

HOU, X. Q. et al. Effects of rotational tillage practices on soil structure, organic carbon concentration and crop yields in semi-arid areas of northwest China. **Soil Use and Management**, v. 28, n. 4, p. 551–558, 1 dez. 2012.

HUGGINS, T. D. et al. Changes in leaf epicuticular wax load and its effect on leaf temperature and physiological traits in wheat cultivars (*Triticum aestivum* L.) exposed to high temperatures during anthesis. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 204, n. 1, p. 49–61, 1 fev. 2018.

IDSO, S. B. Non-water-stressed baselines: A key to measuring and interpreting plant water stress. **Agricultural Meteorology**, v. 27, n. 1–2, p. 59–70, 1 nov. 1982.

- ISEKI, K.; OLALEYE, O. A new indicator of leaf stomatal conductance based on thermal imaging for field grown cowpea. **Plant Production Science**, v. 23, n. 1, p. 136–147, 2 jan. 2020.
- JACKSON, R. D. Canopy Temperature and Crop Water Stress. **Advances in Irrigation**. v. 1, p. 43–85, 1 jan. 1982.
- JASTROW, J. D.; MILLER, R. M. Methods for assessing the effects of biota on soil structure. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 34, n. 1–4, p. 279–303, 15 fev. 1991.
- JEMAI, I. et al. Impact of three and seven years of no-tillage on the soil water storage, in the plant root zone, under a dry subhumid Tunisian climate. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 26–33, 1 jan. 2013.
- JONES, H. G. et al. Use of infrared thermography for monitoring stomatal closure in the field: application to grapevine. **Journal of Experimental Botany**, v. 53, n. 378, p. 2249–2260, 1 nov. 2002.
- JONES, H. G. Use of thermography for quantitative studies of spatial and temporal variation of stomatal conductance over leaf surfaces. **Plant, Cell & Environment**, v. 22, n. 9, p. 1043–1055, 9 set. 1999.
- KAN, Z. R. et al. Mechanisms of soil organic carbon stability and its response to no-till: A global synthesis and perspective. **Global Change Biology**, v. 28, n. 3, p. 693–710, 1 fev. 2022.
- KANDEAL, A. W. et al. Infrared thermography-based condition monitoring of solar photovoltaic systems: A mini review of recent advances. **Solar Energy**, v. 223, p. 33–43, 15 jul. 2021.
- KARLEN, D. L. et al. Soil quality response to long-term tillage and crop rotation practices. **Soil and Tillage Research**, v. 133, p. 54–64, 1 out. 2013.
- KARLEN, D. L.; DITZLER, C. A.; ANDREWS, S. S. Soil quality: why and how? **Geoderma**, v. 114, n. 3–4, p. 145–156, 1 jun. 2003.
- KLOCKE, N. L.; CURRIE, R. S.; AIKEN, R. M. Soil Water Evaporation and Crop Residues. **Transactions of the ASABE**, v. 52, n. 1, p. 103–110, 2009.

KRAEMER, F. B. et al. Pores size distribution and pores volume density of Mollisols and Vertisols under different cropping intensity managements with no-tillage. **Geoderma**, v. 405, p. 115398, 1 jan. 2022.

Kumar, Sandeep, Atsunobu Kadono, Rattan Lal, and Warren Dick. 2012. “Long-Term Tillage and Crop Rotations for 47–49 Years Influences Hydrological Properties of Two Soils in Ohio.” **Soil Science Society of America Journal** 76(6):2195–2207. doi: 10.2136/sssaj2012.0098.

LAL, B. et al. Energy and carbon budgeting of tillage for environmentally clean and resilient soil health of rice-maize cropping system. **Journal of Cleaner Production**, v. 226, p. 815–830, 20 jul. 2019.

LEONEL, F. DE P. et al. Comportamento produtivo e características nutricionais do capim-braquiária cultivado em consórcio com milho. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 1, p. 177–189, jan. 2009.

LIAO, Y. et al. By increasing infiltration and reducing evaporation, mulching can improve the soil water environment and apple yield of orchards in semiarid areas. **Agricultural Water Management**, v. 253, p. 106936, 1 jul. 2021.

Liao, Yang, Hong Xia Cao, Xing Liu, Huang Tao Li, Qing Yang Hu, and Wen Kai Xue. 2021. “By Increasing Infiltration and Reducing Evaporation, Mulching Can Improve the Soil Water Environment and Apple Yield of Orchards in Semiarid Areas.” **Agricultural Water Management** 253:106936. doi: 10.1016/J.AGWAT.2021.106936.

LIMA, R. S. N. et al. Linking thermal imaging to physiological indicators in *Carica papaya* L. under different watering regimes. **Agricultural Water Management**, v. 164, p. 148–157, 31 jan. 2016.

LIU, L. et al. Soil water and temperature characteristics under different straw mulching and tillage measures in the black soil region of China. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 76, n. 3, p. 256–262, 1 maio 2021.

LUDWIG, M.; WILMES, P.; SCHRADER, S. Measuring soil sustainability via soil resilience. **Science of The Total Environment**, v. 626, p. 1484–1493, 1 jun. 2018.

MAHAN, J. R.; YEATER, K. M. Agricultural applications of a low-cost infrared thermometer.

Computers and Electronics in Agriculture, v. 64, n. 2, p. 262–267, 1 dez. 2008.

MANAVALAN, L. P. et al. Physiological and Molecular Approaches to Improve Drought Resistance in Soybean. **Plant and Cell Physiology**, v. 50, n. 7, p. 1260–1276, 1 jul. 2009.

MARCHIN, R. M.; DUNN, R. R.; HOFFMANN, W. A. Are winter-active species vulnerable to climate warming? A case study with the wintergreen terrestrial orchid, *Tipularia discolor*. **Oecologia**, v. 176, n. 4, p. 1161–1172, 1 dez. 2014.

MATHEW, R. P. et al. Impact of No-tillage and conventional tillage systems on soil microbial communities. **Applied and Environmental Soil Science**, v. 2012, 2012.

MERCADO, L. M. et al. Large sensitivity in land carbon storage due to geographical and temporal variation in the thermal response of photosynthetic capacity. **New Phytologist**, v. 218, n. 4, p. 1462–1477, 1 jun. 2018.

MONDAL, S.; CHAKRABORTY, D. Global meta-analysis suggests that no-tillage favourably changes soil structure and porosity. **Geoderma**, v. 405, p. 115443, 1 jan. 2022.

Mott, KA, Peak, D., 2011. **Perspectiva alternativa sobre o controle da transpiração por radiação**. Proc. Nat. Acad. Sci. 108 (49), 19820-19823.<https://doi.org/10.1073/>

NAVARRO-REIG, M. et al. Untargeted lipidomic evaluation of hydric and heat stresses on rice growth. **Journal of Chromatography B**, v. 1104, p. 148–156, 1 jan. 2019.

NOURI, A. et al. Thirty-four years of no-tillage and cover crops improve soil quality and increase cotton yield in Alfisols, Southeastern USA. **Geoderma**, v. 337, p. 998–1008, 1 mar. 2019.

NOVELLI, L. E.; CAVIGLIA, O. P.; PIÑEIRO, G. Increased cropping intensity improves crop residue inputs to the soil and aggregate-associated soil organic carbon stocks. **Soil and Tillage Research**, v. 165, p. 128–136, 1 jan. 2017.

OADES, J. M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. **Plant and Soil** 194 76:1, v. 76, n. 1, p. 319–337, fev. 1984.

OBATA, T.; FERNIE, A. R. The use of metabolomics to dissect plant responses to abiotic stresses. **Cellular and Molecular Life Sciences** 2012 69:19, v. 69, n. 19, p. 3225–3243, 12 ago. 2012.

PALM, C. et al. Conservation agriculture and ecosystem services: An overview. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 187, p. 87–105, 1 abr. 2014.

PARIDA, A. K.; JHA, B. Physiological and Biochemical Responses Reveal the Drought Tolerance Efficacy of the Halophyte *Salicornia brachiata*. **Journal of Plant Growth Regulation**, v. 32, n. 2, p. 342–352, 7 jun. 2013.

PATTO, E. et al. **BOLETIM DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO** 151 Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária Embrapa Tabuleiros Costeiros Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Viabilidade econômica de sistemas de produção de milho, soja e pasto para o agreste do Sertão. Outubro 2020.

PENN, M. J. Infrared solar physics. **Living Reviews in Solar Physics**, v. 11, n. 1, p. 1–66, 21 mar. 2014.

PETTER, F. A. et al. Elevada densidade de semeadura aumenta a produtividade da soja? Respostas da radiação fotossinteticamente ativa. **Bragantia**, v. 75, n. 2, p. 173–183, 26 abr. 2016.

PITTELKOW, C. M. et al. When does no-till yield more? A global meta-analysis. **Field Crops Research**, v. 183, p. 156–168, 1 nov. 2015.

PRÉVOST, V. et al. Diffusions of sound frequencies designed to target dehydrins induce hydric stress tolerance in *Pisum sativum* seedlings. **Heliyon**, v. 6, n. 9, p. e04991, 1 set. 2020.

Pronasolos. Disponível em: <<https://geoportal.cprm.gov.br/pronasolos/>>. Acesso em: 24 mar. 2022.

PRYTZ, G.; FUTSAETHER, C. M.; JOHNSON, A. Thermography studies of the spatial and temporal variability in stomatal conductance of *Avena* leaves during stable and oscillatory transpiration. **New Phytologist**, v. 158, n. 2, p. 249–258, 1 maio 2003.

REICHERT, J. M. et al. Conceptual framework for capacity and intensity physical soil properties affected by short and long-term (14 years) continuous no-tillage and controlled traffic. **Soil and Tillage Research**, v. 158, p. 123–136, 1 maio 2016.

RIAZ, F. et al. Alternative and Non-conventional Soil and Crop Management Strategies for Increasing Water Use Efficiency. **Environment, Climate, Plant and Vegetation Growth**, p. 323–338, 2020.

RIBEIRO, L. DA S. et al. Variabilidade espacial de atributos físicos de solo coeso sob sistemas de manejo convencional e de plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 51, n. 9, p. 1699–1702, 2016.

ROESCH, L. F. W. et al. Pyrosequencing enumerates and contrasts soil microbial diversity. **The ISME Journal** 2007 **1:4**, v. 1, n. 4, p. 283–290, 5 jul. 2007.

ROGALSKI, A. History of infrared detectors. **Opto-Electronics Review** 2012 **20:3**, v. 20, n. 3, p. 279–308, 4 jul. 2012.

ROLIM, G. S., SENTELHAS, P. C., BARBIERI, V. **Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133–137, 1998.

RUSU, T. Energy efficiency and soil conservation in conventional, minimum tillage and no-tillage. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 2, n. 4, p. 42–49, 1 dez. 2014.

SCHLEUSSNER, C. F.; PFLEIDERER, P.; FISCHER, E. M. In the observational record half a degree matters. **Nature Climate Change**, v. 7, n. 7, p. 460–462, 30 jun. 2017.

SHIMAZAKI, K. I. et al. Light Regulation of Stomatal Movement. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105434>, v. 58, p. 219–247, 1 maio 2007.

SILVA, G. S. F. et al. Soil water dynamics and yield in maize and *Brachiaria ruziziensis* intercropping. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 50, p. 1–9, 8 jun. 2020.

SOANE, B. D. et al. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. **Soil and Tillage Research**, v. 118, p. 66–87, 1 jan. 2012.

Socias, X., M. J. Correia, M. Chaves, and H. Medrano. 1997. “The Role of Abscissic Acid and Water Relations in Drought Responses of Subterranean Clover.” **Journal of Experimental Botany** 48(311):1281–88. doi: 10.1093/jxb/48.6.1281.

STILL, C. J. et al. Imaging canopy temperature: shedding (thermal) light on ecosystem processes. **New Phytologist**, v. 230, n. 5, p. 1746–1753, 1 jun. 2021.

TATTERSALL, G. J. Infrared thermography: A non-invasive window into thermal physiology. **Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, v. 202, p. 78–98, 1 dez. 2016.

THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. (Publications in Climatology, v. 8, n. 1).

TISDALL, J. M.; OADES, J. M. Organic matter and water-stable aggregates in soils. **Journal of Soil Science**, v. 33, n. 2, p. 141–163, 1 jun. 1982.

TIVET, F. et al. Aggregate C depletion by plowing and its restoration by diverse biomass-C inputs under no-till in sub-tropical and tropical regions of Brazil. **Soil and Tillage Research**, v. 126, p. 203–218, 1 jan. 2013.

TOSCANO, S. et al. Leaf physiological and anatomical responses of Lantana and Ligustrum species under different water availability. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 127, p. 380–392, 1 jun. 2018.

TOTSCHKE, K. U. et al. Biogeochemical interfaces in soil: The interdisciplinary challenge for soil science. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 173, n. 1, p. 88–99, 1 fev. 2010.

TOTSCHKE, K. U. et al. Microaggregates in soils. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science**, v. 181, n. 1, p. 104–136, 1 fev. 2018.

VIANA, V. E. et al. Metabolic profile of canola (*Brassica napus* L.) seedlings under hydric, osmotic and temperature stresses. **Plant Stress**, v. 3, p. 100059, 1 jan. 2022.

VILLAMIL, M. B. et al. No-Till Corn/Soybean Systems Including Winter Cover Crops. **Soil Science COSiety of America Journal**, v. 70, n. 6, p. 1936–1944, 1 nov. 2006.

WANG, Z. et al. A State-of-the-art review on action mechanism of photothermal catalytic reduction of CO₂ in full solar spectrum. **Chemical Engineering Journal**, v. 429, p. 132322, 1 fev. 2022.

WARGENT, J. J.; JORDAN, B. R. From ozone depletion to agriculture: understanding the role of UV radiation in sustainable crop production. **New Phytologist**, v. 197, n. 4, p. 1058–1076, 1 mar. 2013.

WEBBER, H. et al. Physical robustness of canopy temperature models for crop heat stress simulation across environments and production conditions. **Field Crops Research**, v. 216, p. 75–88, 1 fev. 2018.

WILHELM, W. W. et al. Corn Stover to Sustain Soil Organic Carbon Further Constrains Biomass Supply. **Agronomy Journal**, v. 99, n. 6, p. 1665–1667, 1 nov. 2007.

WUEST, S. B. Soil biopore estimation: effects of tillage, nitrogen, and photographic resolution. **Soil and Tillage Research**, v. 62, n. 3–4, p. 111–116, 1 nov. 2001.

WULANNINGTYAS, H. S. et al. A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation. **Soil and Tillage Research**, v. 205, p. 104749, 1 jan. 2021.

XIA, X. et al. Consistent temperature-dependent patterns of leaf lifespan across spatial and temporal gradients for deciduous trees in Europe. **Science of The Total Environment**, v. 820, p. 153175, 10 maio 2022.

YADAV, G. S. et al. No-till and mulching enhance energy use efficiency and reduce carbon footprint of a direct-seeded upland rice production system. **Journal of Cleaner Production**, v. 271, p. 122700, 20 out. 2020.

YADAV, G. S. et al. Productivity, soil health, and carbon management index of Indian Himalayan intensified maize-based cropping systems under live mulch based conservation tillage practices. **Field Crops Research**, v. 264, p. 108080, 1 maio 2021.

YU, B.; LI, W. Comparative profiling of membrane lipids during water stress in *Thellungiella salsuginea* and its relative *Arabidopsis thaliana*. **Phytochemistry**, v. 108, p. 77–86, 1 dez. 2014.

YU, M. H. et al. Using Plant Temperature to Evaluate the Response of Stomatal Conductance to Soil Moisture Deficit. **Forests 2015, Vol. 6, Pages 3748–3762**, v. 6, n. 10, p. 3748–3762, 16 out. 2015.

ZAMAN, K. Sustainable Technologies in Agriculture Sector: Ensuring Green Food Production for Resource Conservation. **Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials**, p. 550–559, 2020.

ZHANG, H. et al. Can conservation agriculture mitigate climate change and reduce environmental impacts for intensive cropping systems in North China Plain? **Science of The Total Environment**, v. 806, p. 151194, 1 fev. 2022.

ZHANG, H. et al. Responses of soil organic carbon and crop yields to 33-year mineral fertilizer and straw additions under different tillage systems. **Soil and Tillage Research**, v. 209, p. 104943, 1 maio 2021.