



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO**

**Campus de Chapadinha / MA**

**CENTRO DE CIÊNCIAS DE CHAPADINHA**



**COLEGIADO DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**SHEYLA SALES DE OLIVEIRA**

**MONITORAMENTO DA CULTURA DO ALGODÃO USANDO ÍNDICE DE  
VEGETAÇÃO E UMIDADE DA SUPERFÍCIE**

Chapadinha – MA

Dezembro de 2023

**SHEYLA SALES DE OLIVEIRA**

**MONITORAMENTO DA CULTURA DO ALGODÃO USANDO ÍNDICE DE  
VEGETAÇÃO E UMIDADE DA SUPERFÍCIE.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
à Coordenação de Engenharia Agrícola da  
Universidade Federal do Maranhão, como  
requisito para obtenção do Título de  
Engenheiro Agrícola.

Orientador: Prof. Dr. Washington da Silva Sousa

Coorientador: Prof. Dr. Marcus Willame Lopes Carvalho

Chapadinha – MA

Dezembro de 2023

TCC defendido e aprovado em:

**NOME**

---

Prof. Dr. Washington da Silva Sousa (Orientador)

Universidade Federal do Maranhão

---

Prof. Dr. Marcus Willame Lopes Carvalho (Coorientador)

Universidade Federal do Maranhão

---

Prof. Dr. Aldair de Souza Medeiros (Examinador)

Universidade Federal do Maranhão

---

Prof. Dr. Eduardo Silva dos Santos (Examinador)

Universidade Federal do Maranhão

**FICHA CATALOGRÁFICA**

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Diretoria

Sales de Oliveira, Sheyla.

MONITORAMENTO DA CULTURA DO ALGODÃO USANDO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E UMIDADE DA SUPERFÍCIE / Sheyla Sales de Oliveira, Sheyla Sales de Oliveira. - 2023.

41 p.

Coorientador(a): Marcus Willame Lopes Carvalho.

Orientador(a): Washington da Silva Sousa.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Maranhão, Chapadinha, 2023.

1. Balanço hídrico. 2. Monitoramento. 3. Sentinel.  
I. da Silva Sousa, Washington. II. Lopes Carvalho, Marcus Willame. III. Sales de Oliveira, Sheyla. IV. Título.

## DEDICATÓRIA

Dedico esta defesa aos meus pais, meus irmãos, minha família e amigos. A todos que acreditaram nos meus sonhos e estiveram ao meu lado em toda essa trajetória.

## AGRADECIMENTOS

"Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus pela vida, saúde e força para realizar este trabalho.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, pelo apoio incondicional, incentivo e compreensão durante toda a jornada acadêmica. Sem o amor e suporte de vocês, certamente não teria chegado até aqui.

Agradeço ao meu orientador(a), Prof. Dr. Washington da Silva Sousa e coorientador Prof. Dr. Marcus Willame Lopes Carvalho, pela orientação, paciência e pela confiança depositada em mim. Suas sugestões e direcionamento foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

Também gostaria de agradecer aos professores do curso de engenharia Agrícola por compartilharem seus conhecimentos e experiências, contribuindo para a minha formação acadêmica.

Agradeço aos colegas de turma, pelas discussões, trocas de ideias e apoio mútuo ao longo desses anos. A convivência em sala de aula foi enriquecedora e me ajudou a superar os desafios.

Não posso deixar de agradecer aos amigos e amigas que estiveram ao meu lado nos momentos difíceis e nas comemorações. Agradecimentos especiais para Breno, Isabela, Larissa, Pedro do Carmo, que me deram força, incentivaram e proporcionaram momentos de descontração.

Agradeço à biblioteca e aos funcionários da instituição UFMA pela atenção e dedicação em disponibilizar os recursos necessários para a pesquisa e desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, expresso minha gratidão aos participantes da pesquisa, cujas contribuições foram essenciais para a obtenção dos resultados apresentados neste trabalho. A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa, o meu sincero agradecimento. Vocês foram peças fundamentais no meu caminho até aqui."

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. OBJETIVOS GERAIS</b> .....	13
<b>2.1 Objetivos específicos</b> .....	14
<b>1. REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	15
<b>1.1 Cultura do Algodoeiro</b> .....	15
<b>1.2 Evapotranspiração</b> .....	17
<b>1.3 SENTINEL</b> .....	18
<b>1.4 MODELAGEM DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO</b> .....	19
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	20
2.1 Área experimental.....	20
<b>2.2 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS ORBITAIS</b> .....	22
<b>3. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	24
<b>3. CONCLUSÃO</b> .....	31
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34

## RESUMO

### MONITORAMENTO DA CULTURA DO ALGODÃO USANDO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO E UMIDADE DA SUPERFÍCIE

A abordagem espectro-temporal tem mostrado um grande potencial de aplicação na análise da superfície terrestre, sobretudo, nas áreas com elevada dinâmica espectro-temporal, como é o caso das culturas agrícolas. Neste sentido, o algodoeiro apresenta tolerância relativamente alta à seca quando comparado a culturas como soja, arroz, milho, dentre outras. Neste contexto, com o presente trabalho objetivou-se relacionar os índices de vegetação com a cultura do algodão; avaliar a caracterização pluviométrica e termométrica, além de correlacionar as imagens de acordo com suas características e resolução, ademais os estresses hídricos com a cultura do algodão. Para a determinação dos parâmetros de análise espectral, pluviométrica e termométrica, utilizou-se Índices de Vegetação (IVs): o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Umidade de Diferença Normalizada (NDMI) e o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) provenientes do satélite Sentinel e uma série de dados de (01/02/23 a 31/07/23) da estação meteorológicas do tipo convencional de Balsas - MA. As imagens foram importadas para o *software* QGis, onde foi realizada a correção atmosférica das imagens através do programa Semi-AutomaticClassification e então criou-se os *layouts* de impressão dos mapas de acordo com a data das imagens. Para avaliação do balanço hídrico foram utilizadas cinco variáveis, excedente hídrico, déficit hídrico, evapotranspiração real e potencial, proveniente dos dados diários de precipitação e temperatura. A análise da correlação entre imagens, e os índices de vegetação levando em consideração suas características e resolução, junto com a avaliação dos estresses hídricos na cultura do algodão, revelou padrões espaciais críticos durante o ciclo de plantio e colheita. Essas observações são essenciais para decisões informadas, especialmente na gestão da água e adaptação a condições climáticas variáveis. O balanço hídrico revelou padrões notáveis, destacando o terceiro decêndio de fevereiro como o mais chuvoso, enquanto os decêndios de junho e julho apresentaram déficit de chuvas crítico para o algodoeiro. A análise dos níveis de evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) revelou uma relação próxima até agosto, quando divergiram, indicando variações significativas na ETR.

**Palavras-chaves:** Monitoramento, Sentinel, balanço hídrico.



## ABSTRACT

### COTTON CROP MONITORING USING VEGETATION INDEX AND SURFACE MOISTURE.

**Abstract:** The spectro-temporal approach has shown great potential for application in the analysis of the Earth's surface, especially in areas with high spectro-temporal dynamics, such as agricultural crops. Cotton has a relatively high tolerance to drought when compared to crops such as soybeans, rice, corn, among others. In this context, the present work aimed to relate the vegetation indices with the cotton crop, carry out a study on the pluviometric and thermometric characterization and correlate the images according to their characteristics and resolution, in addition to water stress with the cotton crop of a plot with the cultivar FM 911 GLTP in the Balsas-MA region. To determine the spectral, rainfall and thermometric analysis parameters, Vegetation Indices (IVs) were used: NDVI, NDMI and SAVI from the Sentinel satellite and a series of data from ((01/02/23 to 31/ 07/23) from the conventional meteorological station in Balsas-MA. The images were imported into the QGis software, where atmospheric correction of the images was performed using the Semi-AutomaticClassification program and then the printing layouts of the weather maps were created. according to the date of the images. To evaluate the water balance, five variables were used, water surplus, water deficit, real and potential evapotranspiration, coming from daily precipitation and temperature data. The analysis of the correlation between images, and the vegetation indices leading Taking into account its characteristics and resolution, together with the assessment of water stresses in cotton cultivation, revealed critical spatial patterns during the planting and harvesting cycle. These observations are essential for informed decisions, especially in water management and adaptation to variable climatic conditions . The water balance revealed notable patterns, highlighting the third ten-year period of February as the wettest, while the ten-year periods of June and July presented a critical rainfall deficit for cotton. Analysis of potential evapotranspiration (ETP) and actual evapotranspiration (ETR) levels revealed a close relationship until August, when they diverged, indicating significant variations in ETR.

**Keywords:**Monitoring, Sentinel, Water balance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização da área experimental

Figura 2. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da área de estudo.

Figura 3. Média Simples do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da área de estudo.

Figura 4. Índice de umidade de diferença normalizada (NDMI) da área de estudo.

Figura 5. Média Simples do Índice de umidade de diferença normalizada (NDMI) da área de estudo.

Figura 6. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) da área de estudo.

Figura 7. Média Simples do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) da área de estudo.

Figura 8. Gráfico do balanço hídrico sequencial para Balsas-MA, método de Thornthwaite e Mather (1955), para o período de JAN a JUL de 2023. precipitação; ETP = evapotranspiração potencial; ETR = evapotranspiração real.

Figura 9. Gráfico do extrato do balanço hídrico sequencial para Balsas-MA, método de Thornthwaite e Mather (1955), para o período de JAN a JUL de 2023. DEF = deficiência hídrica

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Duração média de cada estágio de desenvolvimento do algodoeiro.	16
<b>Tabela 2.</b> Comparação das datas de aquisição das imagens com o estágio de desenvolvimento do algodoeiro	23

## 1. INTRODUÇÃO

O algodão é uma das plantas mais cultivadas pelo homem, tendo em vista sua fibra, produto de consumo generalizado em todo o mundo e ainda, o óleo, a farinha da torta, o línter e a casca, todos extraídos da semente ou caroço (Zanqueta et al., 2001). É um dos fitossistemas de maior complexidade presente na natureza, sendo uma planta perene com hábito de crescimento indeterminado.

A temperatura influencia fortemente o crescimento da planta, tendo sido determinada a exigência em temperatura para cada fase do crescimento do algodoeiro (OOSTERHUIS, 1992). A velocidade de emergência depende fundamentalmente da temperatura (WANJURA; BUXTON, 1972a, 1972b). Em condições normais, ela deve ocorrer entre 5 e 10 dias. Em temperaturas médias de 22 a 25 °C, as plantas iniciam a produção de um novo ramo simpodial (frutífero) na haste principal a cada 3 dias (BAKER; LANDIVAR, 1991; HODGES et al., 1993). Por ocasião do aparecimento da primeira flor, as plantas devem ter desenvolvido entre 14 e 16 nós, na haste principal, acima do nó cotiledonar. Embora haja alguma variação em função da posição na planta, além da temperatura, pode-se estimar que a cada três dias deva aparecer um botão floral em ramos sucessivos, e a cada seis dias deva aparecer um botão floral no mesmo ramo (KERBY; KEELEY, 1987).

Nesta fase, o crescimento vegetativo é fundamental para gerar um grande número de posições frutíferas. Por ocasião do aparecimento da primeira flor (branca), uma planta com bom potencial de produção deve ter 9-10 nós acima desta flor (KERBY; HAKE, 1993).

A exigência em água nessa fase passa de 4 mm a mais de 8 mm por dia, acompanhando o desenvolvimento da área foliar. Embora o algodoeiro seja conhecido por ter certa resistência à seca, maior que a dos cereais, por exemplo, isso não significa que não necessite de água. Para a obtenção de altas produtividades é necessária uma quantidade de água da ordem de 700 mm durante o ciclo da cultura (GRIMES; EL-ZIK, 1990).

A abordagem espectro-temporal tem mostrado um grande potencial de aplicação na análise da superfície terrestre, sobretudo nas áreas com elevada dinâmica espectro-temporal, como é o caso das culturas agrícolas. Vários estudos têm utilizado com relativo êxito esta abordagem para o monitoramento e mapeamento de culturas agrícolas (Kastens et al., 2005; Jakubauskas et al., 2002; Wardlow et al., 2007). Esses dados de sensoriamento remoto podem fornecer informações precisas da variabilidade do campo, em grandes áreas, por apresentarem

potencial para o monitoramento de parâmetros biofísicos ligados à produtividade, ao longo de todo o ciclo de desenvolvimento da cultura (MOTOMIYA et al., 2012).

Diante da necessidade de monitorar e caracterizar os ciclos sazonais da vegetação, vários instrumentos orbitais têm sido desenvolvidos e aperfeiçoados. Nesse sentido, destacam-se a utilização de imagens oriundas de dois programas específicos, que fornecem produtos de forma gratuita: Landsat e Sentinel-2. Há, em território brasileiro, centenas de trabalhos científicos que foram construídos com a utilização de imagens destes programas, dentre eles: Moreira (1984); Ponzoni et al. (1988); Santos (1994); Mantovani e Pereira (1998); Liesenberg e Lima (2004); Gomes et al. (2011); Bezerra et al. (2019).

O programa Landsat começou em 1972 com resolução espacial de 80m e permitiu adquirir milhões de imagens. Os dados adquiridos a partir do satélite Landsat 4 (1982) têm melhor resolução espacial (30 m), temporal de 16 dias e compreende bandas espectrais no visível e no infravermelho. Foram amplamente utilizados para estudos sobre mudanças no uso do solo (HANSEN; LOVELAND, 2012; HANSEN et al., 2013; SOUZA et al., 2020).

A missão Sentinel-2 consiste em um conjunto de dois satélites idênticos (Sentinel-2A e Sentinel-2B) na mesma órbita quase-polar lançados respectivamente em junho de 2015 e março de 2017 (ESA, 2020a). Com um único satélite, a revisão periódica é de dez dias no Equador, e com ambos satélites, são cinco dias. Este período é reduzido para 2-3 dias em latitudes médias. Dispõe de um sensor MSI (MultiSpectral Instrument) com 13 bandas espectrais no visível e no infravermelho com uma resolução espacial de 10, 20 e 60 m dependendo da banda (ESA, 2015; MAS et al., 2016).

Embora a resolução temporal do Landsat 1 ao Landsat 3 seja de 18 dias, do Landsat 4 em diante, seja de 16 dias e do Sentinel2 de cinco dias, a disponibilidade espaço-temporal dessas imagens não ocorre de forma homogênea, ora por conta de políticas de aquisição, ora por conta de condições atmosféricas (presença de nuvens) no momento da tomada da cena, o que pode inviabilizar o uso daquela imagem para determinado fim (LI; ROY, 2017).

Neste contexto, os métodos que utilizam dados para monitoramento a partir de imagens de satélites se mostram muito úteis, pois são capazes de propiciar a sua determinação em áreas com grande heterogeneidade e dimensão.

## 2. OBJETIVOS GERAIS

Investigar a eficácia do uso combinado de dados provenientes do sensor Sentinel para o monitoramento multitemporal de áreas de cultivo de algodão na região de Balsas, Maranhão, visando aprimorar as práticas agrícolas e fornecer suporte à tomada de decisões nesse contexto.

## **2.1 Objetivos específicos**

- Realizar um estudo sobre a caracterização pluviométrica e termométrica da região de estudo.
- Relacionar os índices de vegetação com a cultura do algodão.
- Correlacionar as imagens de acordo com suas características e resolução, ademais os estresses hídricos com a cultura do algodão.

# **1. REVISÃO DE LITERATURA**

## **1.1 Cultura do Algodoeiro**

O algodão apresenta lugar de destaque quando se trata das culturas fibrosas do mundo. Anualmente, estima-se que, em média, as áreas destinadas para o cultivo de algodão em todo mundo chegam a 35 milhões de hectares (ABRAPA, 2022). Atualmente, o algodão é produzido nos cinco continentes mundiais, em cerca de 60 países, envolvendo mais de 350 milhões de pessoas em todo seu ciclo produtivo, indo desde do preparo do solo até a logística de transporte, movimentando aproximadamente U\$\$ 12 bilhões.

Desde a década de 1950, a demanda pelo consumo de algodão tem crescido progressivamente, totalizando um acréscimo médio anual de 2% na produtividade dessa cultura (ABRAPA, 2022). De acordo com Oliveira (2020), a produtividade mundial de algodão teve acréscimo de 38%, saltando de 19.404 mil toneladas no ano 2000, para 26.930 mil toneladas em 2018. Na safra 2022/2023 a Índia ocupou a primeira posição, no que se refere a produção de algodão com 6.314 mil toneladas, seguida de China, Estados Unidos, Brasil e Paquistão, que somados seus índices representam 76,66% de toda a produção mundial de algodão. De acordo com Severino et al. (2019), ao se tratar de exportação, Estados Unidos, Índia, Brasil e Austrália são os maiores

A cadeia produtiva do algodão é umas das mais importantes do Brasil, já que, representa uma expressiva parcela do produto interno bruto (PIB) do agronegócio brasileiro, gerando empregos diretos e indiretos para milhões de pessoas, com grande importância social quando comparada com outras cadeias produtivas (BELTRÃO; ARAUJO, 2004). O cultivo comercial do algodão em solo brasileiro iniciou em estados da região Nordeste, mais precisamente no

estado do Maranhão em 1970, que foi pioneiro em exportar as primeiras sacas de algodão para a Europa. Antes disso, os produtores locais se dedicavam ao cultivo do algodoeiro arbóreo perene, por apresentar fibras mais compridas (COÊLHO, 2018)

O algodão é o quinto produto nacional em termos de Valor Bruto da Produção (VBP) agrícola, devendo atingir, em 2021, o valor de R\$ 26,07 bilhões (2,4% do VBP total), alta de quase 92% em relação a 2017 (R\$ 13,6 bilhões) e de 3,7% em relação a 2020 (R\$ 25,1 bilhões). O VBP do algodão no Nordeste deverá chegar a R\$ 6,2 bilhões, cerca de 24% do total nacional, também registrando aumento de 7% em relação a 2020, com R\$ 5,5 bilhões produzidos pela Bahia (BRASIL, 2021a).

Segundo Passos (1977), o algodoeiro é uma planta ereta, cilíndrica e por vezes pentangular, anual ou perene. O fruto é uma cápsula deiscente, com 3 a 5 lóculos, e 6 a 8 sementes por lóculo. Quando verde o fruto é chamado “maçã” e quando maduro chamado de capulho. Seu sistema radicular é pivotante e a semente piriforme, oblonga e a testa pode ser nua ou envolvida por dois tipos de fibra, a fibra comercial e o linter (BELTRÃO; SOUZA, 1999).

De acordo com Germano (2021) além do produto principal, a pluma de algodão, os coprodutos do algodoeiro, possuem enorme valia para a indústria. Exemplos incluem o caroço do algodão, que pode ser utilizado como semente ou aproveitado para extração de óleos, após a retirada do linter. A casca, por sua vez, tem com destinação principal a alimentação de ruminantes, após passar pelo processo de briquetagem, podendo ainda ser usado em fornos de secadores como alternativa para a lenha (SEVERINO et al., 2019).

O algodoeiro herbáceo ou anual (*Gossypium hirsutum* L.), pertence à família Malvaceae. A depender da cultivar e das condições ambientais, o ciclo fenológico varia de 120 a 200 dias (CARDOSO et al., 2015; VASCONCELOS et al., 2018). É uma planta de origem tropical, sendo cultivada em diversos países ao redor do mundo, principalmente em regiões de temperaturas elevadas. Atualmente existem 52 espécies do gênero *Gossypium*, das quais 4 são amplamente cultivadas, elas são: *G. arboreum*; *G. barbadense*; *G. herbaceum*; *G. hirsutum*. Dentre essas 4 espécies citadas, a *G. hirsutum* é a principal espécie cultivada nas unidades produtoras de algodão (MARTINS, 2020). O algodão perene ou arbóreo por sua vez, possuía grande relevância no cenário brasileiro até meados da década de 1980, quando passou a ser substituído pelo algodão herbáceo. Atualmente, o algodão perene encontra-se limitado a pequenas áreas no nordeste do Brasil (CHIAVEGATO, et al., 2009; MARTINS, 2020).

O equilíbrio entre o crescimento vegetativo e reprodutivo é fundamental para a produção e qualidade da fibra, sendo influenciado diretamente pelas condições do ambiente, como a

temperatura, luminosidade, umidade, fertilidade do solo, bem como do manejo, densidade de plantas, espaçamento entre linhas, nutrientes, reguladores de crescimento (CHIAVEGATO; SALVATIERRA; GOTTARDO, 2009).

**Tabela 1** - Duração média de cada estágio de desenvolvimento do algodoeiro.

<b>Estádio</b>	<b>Duração (dias)</b>
Germinação – Emergência	5 a 10
Emergência – Primeiro Botão Floral	30 a 35
Primeiro Botão Floral – Primeira flor	20 a 25
Primeira flor – Primeiro capulho	50 a 55
Primeiro capulho – Colheita	45 a 50

Fonte: Chiavegato, Salvatierra e Gottardo (2009)

Tabela 1. Duração média de cada estágio de desenvolvimento do algodoeiro. Estádio Duração (dias) Germinação – Emergência 5 a 10 Emergência). A depender do clima e da duração do ciclo, a quantidade de água necessária para atender às necessidades hídricas do algodoeiro, pode variar entre 700 mm. Cada estágio fenológico vai demandar a quantidade, em função do desenvolvimento da fitomassa, com maior requerimento na fase de floração (CHIAVEGATO; SALVATIERRA; GOTTARDO, 2009).

De acordo com Rossi et al., (2020) uma característica notável do algodoeiro é o fato dessa cultura possuir crescimento indeterminado, havendo a necessidade de fazer a aplicação de um regulador de crescimento. O regulador de crescimento é uma substância de origem natural ou sintética responsável por inibir ou promover uma série de processos metabólicos durante a fase vegetativa da planta. Segundo Ferreira (2012), em solos ricos de nitrogênio, por exemplo, há uma forte tendência de que a planta atinja estatura acima do ideal, resultando em problemas na hora da colheita mecanizada, e por consequência causando impacto na qualidade da fibra.

## **1.2 Definição de Evapotranspiração**

A evapotranspiração é um importante parâmetro nas interações entre o solo, a vegetação e a atmosfera (LIU et al., 2013), desempenhando um papel fundamental no balanço de energia e água dos sistemas agrícolas (ZHAO et al., 2019; WANG et al., 2015). O conhecimento da evapotranspiração é fundamental para o estudo das mudanças climáticas globais, gestão dos



recursos hídricos, otimização do manejo da irrigação e produtividade da água, pesquisa agrícola e dinâmica do ciclo hidrológico (ANAPALLI et al., 2016; CASTELLVÍ; SNYDER, 2010; DING et al., 2013; VALIPOUR, 2015; XU; CHEN, 2005). A evapotranspiração de cultura (ETc) pode ser medida diretamente ou ser estimada, em que a escolha depende do objetivo. De acordo com Escarabajalhenarejos et al. (2015).

Assim, Silva e Rao (2005), afirmam que a retomada da produção do algodão no Nordeste do Brasil, está condicionada à aplicação de tecnologias relacionadas ao uso eficiente da água, que promoverá benefícios ambientais e redução nos custos de produção. Por sua vez, Bezerra et al. (2010) informam que o requisito fundamental para adoção de manejo da irrigação, assim como do seu desempenho, é a determinação diária da evapotranspiração da cultura (ETc).

O emprego de metodologias para a determinação das necessidades hídricas das culturas em suas diferentes fases de desenvolvimento contribui para aumentar a produtividade e a eficiência na utilização dos equipamentos, energia elétrica e recursos hídricos (SANTOS et al., 2014). O conhecimento da demanda hídrica das culturas exerce grande influência nas tomadas de decisões a respeito da necessidade ou não de uso de sistemas de irrigação, da quantidade e momento certo de realizar a irrigação (SOBENKO et al., 2016).

O estresse hídrico é um dos estresses abióticos mais importantes que limitam a produtividade das culturas. Mundialmente, cerca de 20% das terras aráveis enfrentam estresse hídrico de moderado a severo, e existe uma previsão de aumento no futuro (Barichivich et al., 2019), pois o ar mais quente e seco produz um alto déficit de pressão de vapor, aumentando assim a evapotranspiração e levando a uma taxa maior de secamento do solo. Sob condições de seca, o potencial de água da planta e o potencial de pressão diminuem a ponto de impactar negativamente as funções fisiológicas da planta, diminuindo a produtividade da cultura (Wang et al., 2016).

A cultura do algodão pode ser afetada negativamente pelo estresse hídrico em quase todos os estádios de crescimento, mas ela é excepcionalmente sensível a tal estresse durante o desenvolvimento reprodutivo (Wang et al., 2016; Iqbal et al., 2017; Niu et al., 2018). Na verdade, a expansão celular é um dos primeiros processos negativamente impactados pela seca na maioria das espécies vegetais (Hsiao, 1973).

Como resultado, o estresse hídrico torna-se uma grande restrição para os processos das plantas que dependem da expansão celular, como o desenvolvimento da área foliar (Meeks et al., 2019). Não é surpreendente que o crescimento da área foliar seja altamente sensível ao

estresse hídrico no algodão (Turner et al., 1986; Meeks et al., 2019). Além disso, a área foliar diminui com a seca por conta do aumento da senescência foliar (Saleem et al., 2016).

Os defeitos encontrados na fibra do algodão se devem a vários fatores, dentre os quais estão as características da cultivar utilizada, o efeito das condições climáticas durante o ciclo da cultura, a condução da lavoura, com destaque para as práticas de controle das plantas daninhas, das pragas e doenças e o processo de colheita (Xu et al., 1999).

### 1.3 SATELITE SENTINEL

O Sensoriamento Remoto é uma técnica que utiliza de forma conjunta, sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados colocados a bordo de aeronaves, espaçonaves ou outras plataformas, com a finalidade de estudar fenômenos e processos que ocorrem na superfície do planeta Terra a partir do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que compõem em suas mais diversas manifestações (NOVO, 2010).

Em nível orbital os dados são obtidos de sensores instalados em satélites que fazem a imagem terrestre (NOVO, 2008). Entre os sensores orbitais existentes um dos mais antigos, pertence à série de satélites LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*) gerenciados pela USGS (*United States Geological Survey*) e NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) que oferecem um registro contínuo de imagens terrestres gratuitas desde 1973 (USGS, 2021).

Com o lançamento da série de satélites Sentinel com seus sensores S-2,- 3 e instrumentos ópticos de altíssima qualidade, onde a coleta de imagens com resolução espacial é maior e já corrigidas radiometricamente, é possível realizar uma cobertura terrestre periódica e diagnosticar as mudanças ocorridas em determinado período (ESA, 2021). O custo da análise de dados é um dos principais desafios na utilização de dados de detecção remota óptica para monitorar ecossistemas terrestres. Isso se deve aos requisitos logísticos, hardware, *software* e treinamento de analistas qualificados. Essas limitações podem dificultar a aceitação desses conjuntos de dados.

É interessante, aliás, mostrar que este tipo de tecnologia, tendo em vista a necessidade de planejamento urbano, ambiental, rural, entre outros, ajuda muito nas etapas de organização do espaço geográfico, ou seja, para que sejam adotadas as melhores alternativas para a

organização de um determinado espaço é preciso antes que ele seja conhecido, o que é possível, com o uso de geotecnologias (SILVA, LIMA; DANTAS, 2006). Nesse sentido ressalta-se a importância do uso dos produtos de sensoriamento remoto (SR), que possibilitam a obtenção de informações da superfície terrestre sem existir um contato físico, a partir do uso de imagens, de forma não destrutiva e com boa relação custo/benefício. Tais imagens podem ser obtidas a partir de diversas plataformas, como satélites, aeronaves, veículos aéreos não tripulados (VANTs), entre outros (BRANDÃO; ZONTA; SHIRATSUCHI, 2018).

#### **1.4 DETERMINAÇÃO DOS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO**

Wiegand et al. (1991) definem os índices de vegetação como o resultado de transformações lineares de reflectância entre duas ou mais bandas espectrais através de operações de soma, diferença ou razão, com o objetivo de desenvolver relações funcionais dos dados com as características da vegetação. Esses índices podem ser obtidos por meio de modelos matemáticos ou algoritmos que utilizam dados de reflectância provenientes do sensoriamento remoto e os associam às características das plantas. Os IVs apresentam diferentes finalidades que se complementam, para avaliar o desenvolvimento das culturas.

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), proposto por Rouse et al. (1973), relaciona a reflectância da vegetação nos comprimentos de onda do vermelho (V) e do infravermelho próximo (IVP). apresenta escala de variação linear entre  $-1$  e  $1$ , onde valores negativos retratam nuvens ou corpos de água, o intervalo entre  $0,0$  e  $0,2$  representa solo exposto, e valores acima desse correspondem a vegetação, de forma que quanto mais próximo de um, maior o vigor vegetal. O NDVI apresenta uma forte correlação linear com o crescimento das culturas, sendo bastante utilizado para monitoramento agrícola, estimativa de produtividade entre outros (LIU, 2015).

Bertolin et al. (2017) propuseram o desenvolvimento de uma equação empírica que utiliza a relação entre os índices de vegetação (IVs), obtidos por meio de sensoriamento remoto, com a produtividade do milho para fazer previsões sobre as safras subsequentes. Os resultados mostraram que o NDVI possui uma forte correlação com a produtividade ( $R^2$  de  $0,81$ ), o que evidencia seu alto potencial para esse propósito. Por outro lado, Moreira (2019) utilizou o NDVI para analisar os padrões fenológicos e de produção em plantações de cana-

de-açúcar, buscando obter informações como a identificação dos diferentes estágios de plantio entre os talhões.

Outros dois IVs comumente utilizados foram propostos por Huete (1988) e Huete et al. (1997) para atenuar os efeitos causados pelo solo e pelos aerossóis atmosféricos, o SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo) e o EVI (Índice de Vegetação Melhorado), respectivamente. Ambos são calculados com as refletâncias do vermelho e do infravermelho próximo acrescido de fatores de correção. No SAVI é a constante L, que assume o valor 0 para cobertura de vegetação alta; 0,5 em cobertura intermediária e 1 para um nível muito baixo de vegetação. Já no EVI, são os coeficientes C1 e C2 que consistem no coeficiente de correção dos efeitos atmosféricos para a banda do vermelho e para a banda do azul respectivamente. Esses são alterados de acordo com as condições regionais (LAURENTINO et al., 2011; LIU, 2015; ).

WILSON e SADER (2002) aplicaram o pouco conhecido Normalized Difference Moisture Index (NDMI) para estudar a influência hídrica em vegetações e concluíram que o NDMI explicou melhor a dinâmica da vegetação do que o NDVI, durante a análise de uma série multitemporal de imagens. Segundo JIN e SADER (2005), o aperfeiçoamento das técnicas de monitoramento da vegetação é particularmente relevante e um grande desafio. Nesse contexto, o NDMI é um bom índice para a detecção de mudanças porque proporciona uma melhor distinção espectral da vegetação na análise ao longo de uma série multitemporal de imagens.

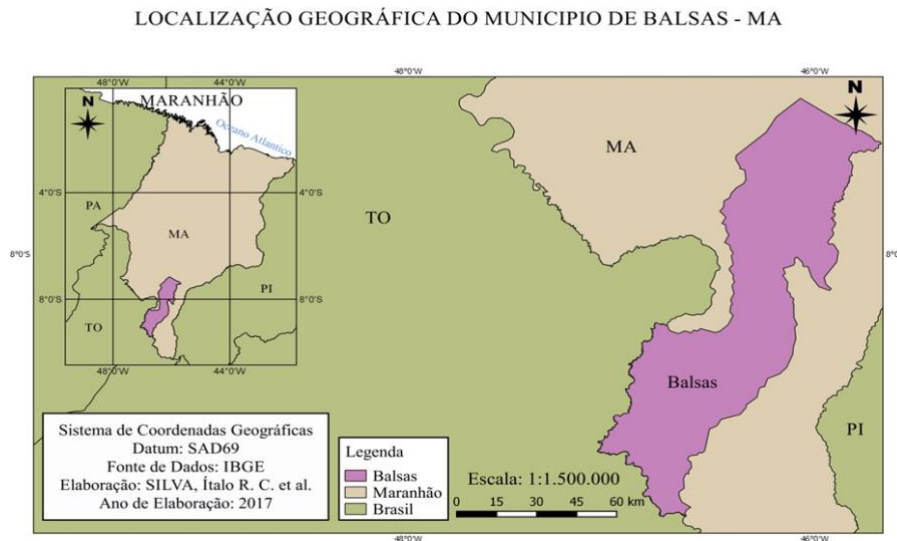
De acordo com TUCKER (1979), os índices de vegetação exploram o contraste nos valores de reflectância das faixas espectrais, com o objetivo de melhorar a caracterização da vegetação e reduzir as interferências de fatores que prejudiquem a associação com os parâmetros biofísicos.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área experimental**

Área de estudo localiza-se no município de Balsas (Figura 1), inserido na Mesorregião Sul maranhense, na Microrregião Gerais de Balsas, compreendendo uma área de 13.142 km<sup>2</sup>. Possui uma população de aproximadamente 83.537 habitantes e uma densidade demográfica de 3,35 habitantes/km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Limita-se ao Norte com os municípios de São Raimundo das Mangabeiras e Fortaleza dos Nogueiras; ao Sul, com o município de Alto Paranaíba e o

Estado do Pará; a Leste, com os municípios de Sambaíba, Tasso Fragoso e Alto Paranaíba e; a Oeste, com os Municípios de Nova Colinas e Riachão (Google Maps, 2011). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo tropical quente e úmido (Aw), com estação seca (MARANHÃO, 2002).



**Figura 1.** Localização da área experimental.

Com dois períodos bem definidos: período chuvoso de janeiro a junho, com médias mensais superiores a 132,6 mm, e período de estiagem entre julho e dezembro, com pico entre os meses de maio a julho, quando a precipitação varia de 3,4 a 159,8 mm. A precipitação total anual é, em média, de 1.216,3 mm e a temperatura média mensal é de 26°C. A vegetação varia de acordo com as características do relevo, proximidade dos cursos de água e grau de interferência antrópica. A vegetação predominante é do tipo cerrado, comum no alto das chapadas e nas áreas planas mais baixas.

Na área experimental foi plantada a cultivar FM 911 GLTP, no mês de Dezembro. Essa variedade apresenta uma relação custo-benefício superior em relação ao ciclo e tempo de exposição, o que resulta em um alto potencial produtivo. Além disso, possui um rendimento de fibra de 40% ou mais, e uma qualidade superior aos padrões do mercado. A variedade permite a produção de capulhos grandes e pesados, e possui uma arquitetura de planta moderna. Sua facilidade no manejo do regulador proporciona auxílio no controle de lagartas e apresenta um excelente desempenho em áreas irrigadas.

## 2.2 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DOS DADOS ORBITAIS

Os satélites escolhidos para a obtenção de imagens foram os da missão espacial Sentinel 2, administrados pela Agência Espacial Europeia e pela Comissão Europeia. Essa missão é composta por dois satélites, denominados 2A e 2B, que ocupam a mesma órbita síncrona ao sol, faseados em 180° entre si. Os satélites dispõem do sensor MSI (MultiSpectral Instrument) o qual apresenta 13 bandas espectrais com 03 resoluções espaciais diferentes (10, 20 e 60 m),

O nível 1C contém valores de reflectância de topo da atmosfera (TOA – Top-Of-Atmosphere) e serve como dado de entrada para a realização do pré processamento da imagem (correção atmosférica), que resulta no nível 2A, com valores de reflectância da superfície (BOA – Bottom-Of-Atmosphere). Cada produto abrange 10.000 km<sup>2</sup> (100 km x 100 km) da superfície terrestre e consiste em 13 imagens JPEG-2000 comprimidas, cada uma representando uma banda diferente. As imagens são fornecidas em coordenadas UTM/WGS84 (Universal Transversa de Mercator/World Geodetic System 1984). O que permite obter imagens atuais de grandes áreas com alto padrão de qualidade e precisão planimétrica, que tem como principal objetivo o monitoramento da vegetação. As imagens foram escolhidas de acordo com o menor nível de cobertura de nuvens para a área de estudo correspondente a 50%.

Na área de estudo, o algodão é semeado nos meses de dezembro e janeiro. A colheita começa em junho e pode chegar até setembro como mostra a tabela 2 abaixo.

**Tabela 2.** Comparação das datas de aquisição das imagens com o estágio de desenvolvimento do algodoeiro

CULTIVAR - FM 911 GLTP		
AQUISIÇÃO DAS IMAGENS	DIAS APÓS O PLANTIO	ESTÁGIO VEGETATIVO
13/02/2023	45	Vegetativa/Emergência
04/04/2023	105	Botões Florais
19/05/2023	150	Florescimento
16/06/2023	178	Abertura dos capulhos à colheita
26/07/2023	218	Final da colheita

Fonte: Autor

Para análise das informações orbitais, foram empregados três Índices de Vegetação (IVs): o NDVI, NDMI e o SAVI. Esses IVs representam variações contínuas das bandas espectrais e possibilitam a distinção dos níveis de refletância da vegetação, considerando sempre os diferentes componentes de cada planta. Formaggio e Sanches (2017, p. 80) ressaltam que o "potencial dos IVs para a agricultura é vasto em razão de propiciar a capacidade de avaliar a quantidade e as condições das plantas, em extensas áreas, de modo rápido, repetível e com fundamentação física"

O NDVI está associado com padrões de desenvolvimento e evolução das plantas e funciona como um indicador da consistência de biomassa verde (ROUSE et al., 1974), é calculado pela diferença de reflectância entre a faixa do infravermelho próximo ( $\rho_{nir}$ ) e vermelho ( $\rho_{red}$ ), dividida pela soma destas mesmas faixas ( $\rho_{nir}$ ) e ( $\rho_{red}$ ), resultando em um valor no intervalo de  $-1$  a  $+1$ . A premissa é a de que, quanto mais próximo de  $+1$ , maior será a presença de vegetação; e quanto mais próximo de  $-1$ , mais escassa é a vegetação, ou mesmo, a sua ausência (HUETE et al., 2002; JENSEN, 2009). É representado pela Equação 1:

$$NDVI = (\rho_{nir} - \rho_{red}) / (\rho_{nir} + \rho_{red}) \quad (1)$$

em que:  $\rho_{nir}$  = Reflectância na banda do Infravermelho próximo;  $\rho_{RED}$  = Reflectância na banda do vermelho.

Segundo JIN e SADER (2005), o aperfeiçoamento das técnicas de monitoramento da vegetação é particularmente relevante e um grande desafio. Diante disso, o índice NDMI é útil na detecção de mudanças devido à sua capacidade de distinguir melhor a vegetação em análises de imagens ao longo do tempo, com valores do índice entre  $-1$  e  $1$ . Sendo calculado de acordo com a Equação 2.

$$NDMI = (\rho_{IVP} - \rho_{IVM}) / (\rho_{IVP} + \rho_{IVM}) \quad (2)$$

em que:  $\rho_{IVP}$  = reflectância no infravermelho próximo (%);  $\rho_{IVM}$  = reflectância no infravermelho médio (%).

Foi estimado o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI), utilizando a Equação 3:

$$SAVI = (1+L)(\rho_{iv} - \rho_v) / (L + \rho_{iv} - \rho_v) \quad (3)$$

em que:  $\rho_{iv}$  e  $\rho_v$  são as refletâncias na banda do infravermelho próximo e do vermelho, respectivamente e  $L$  é uma constante do fator de ajuste do índice, tendo o valor alterado dependendo da cobertura do solo.

A fim de verificar o desenvolvimento temporal do ciclo fenológico do algodão, assim como estruturar as alterações espaciais ocorridas, foram percorridas algumas etapas: (a) aquisição das imagens de satélites pelo site da United States Geological Survey (USGS); (b) importação das imagens para o software livre QGIS versão 3.28.; (c) cálculo dos IVs através da calculadora raster e; (d) layout dos mapas com a observação espacial e temporal do desenvolvimento do cultivo do algodão.

Ao importar as imagens para o software QGIS, criou-se um banco de dados georreferenciados e o programa Semi-Automatic Classification foi utilizado para realizar a correção atmosférica das imagens. Foram selecionadas apenas as bandas necessárias para fazer o cálculo dos IVs, banda 2 (Azul), banda 4 (vermelho) e banda 8 (infravermelho próximo). Por fim, criou-se os layouts de impressão dos mapas de acordo com a data das imagens, a fim de compreender melhor a variabilidade espacial e interferências no desenvolvimento da soja com a comparação dos dois IVs.

### 2.3 Estimativa do balanço hídrico sequencial (BHS)

Para a obtenção do balanço hídrico sequencial (BHS) climático foi utilizado o método proposto por Thornthwaite e Mather (1955). Para a determinação dos parâmetros de Precipitação, evapotranspiração e temperatura, utilizou-se uma série de dados históricos de (01/02/23 a 31/07/23) da estação meteorológicas do tipo convencional de Balsas-MA, utilizando um software desenvolvido em planilhas eletrônicas do Excel desenvolvido por Rolim e Sentelhas (1999).

Na estimativa do BHS os meses foram divididos por decêndios, períodos que equivalem a dez dias consecutivos, no caso das variáveis de entrada no cálculo do BHS a precipitação será a soma e a temperatura o valor médio. Assim, um mês corresponde a três decêndios e um ano a trinta e seis decêndios, de acordo com Cupolillo (2015). Nos meses com trinta e um dias a média do 3º decêndio é elaborada com onze dias, no mês de fevereiro o 3º decêndio é calculado para oito dias, e nos anos bissextos para nove dias. Diante disso pode-se obter os valores sequenciais diários das seguintes variáveis: precipitação e temperatura.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO



A Figura 2 representa os mapas de NDVI, referentes ao dia 13/02/2023 até o dia 26/07/2023, que corresponde a época de plantio e da colheita do algodão no talhão de acordo com os valores de reflectância, sendo distribuída nas 5 bandas espectrais. Pode-se observar para o algodão que desde abril até início de junho o comportamento espectral é típico de uma cobertura vegetal com intensa atividade fotossintética. Isto é notado pelos elevados valores de reflectância no infravermelho próximo (banda 4) e sua ampla diferença com relação às bandas do espectro visível, em especial as bandas 2 e 3. Isto é notado pelos elevados valores de reflectância no infravermelho próximo (banda 4) e sua ampla diferença com relação às bandas do espectro visível, em especial as bandas 2 e 3. Neste período, as bandas do infravermelho médio (bandas 5 e 7) não sofrem grandes mudanças, e seus valores são baixos em relação à banda 4, o que indica um bom estado hídrico da cultura.

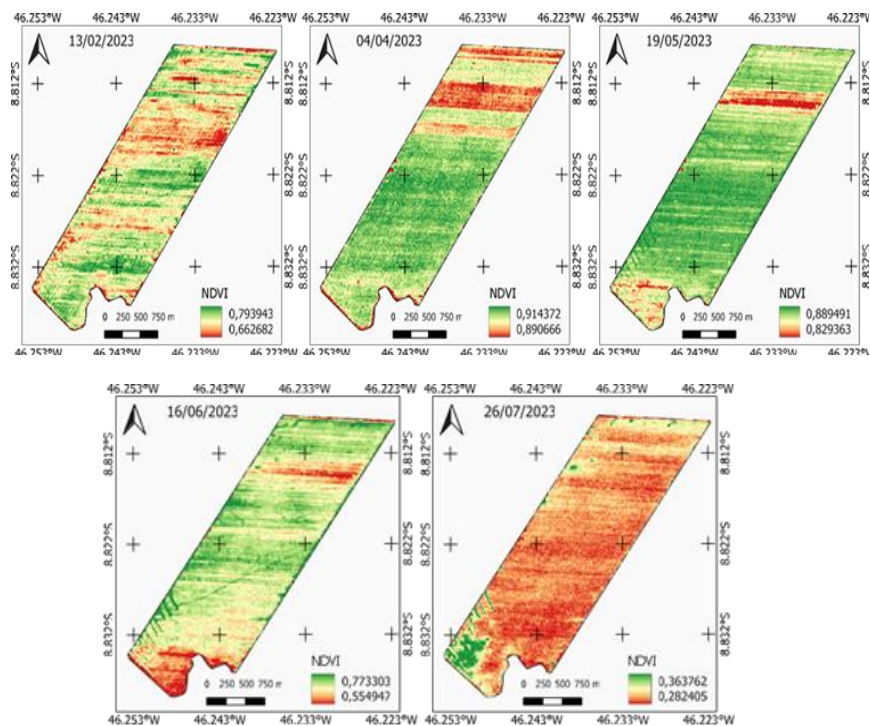


Figura 2. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da área de estudo.

Murthy et al., (2009) relataram que a vegetação sob estresse possui uma reflexão mais alta na região do vermelho e menor na região do infravermelho próximo do espectro, do que a vegetação saudável. A reflexão das culturas no infravermelho próximo tem um papel importante na análise da saúde das plantas e está relacionada à geometria do dossel. Por outro lado, a absorção na região do vermelho está associada à biomassa das plantas e à fotossíntese

acumulada. Dessa forma, quando a vegetação está sob estresse, seja por fatores internos ou externos, é comum observar uma diminuição no valor do índice NDVI.

Isso ocorre porque um NDVI mais alto indica uma maior cobertura verde, enquanto uma diminuição no NDVI sugere uma perda de crescimento e vigor das plantas, o que pode ter como consequência a redução na produtividade da cultura. No período de colheita do algodão, que ocorre a partir do mês de junho, observam-se alterações significativas em seu comportamento espectral. Os níveis de reflexão nas bandas do mês 26/07/2023 apresentam um aumento considerável, enquanto na banda do mês 13/02/2023 do ocorre uma diminuição devido à ocorrência natural ou provocada de necrose nas folhas.

Conforme a escala de cor dos pontos verdes, é possível conferir as faixas e a sua distribuição no talhão. Realizando comparativos da plantação ao longo de uma mesma safra, e até em diferentes safras, é possível categorizar os talhões em zonas de manejo. Dessa forma, para cada faixa de valores é atribuída uma cor. Por exemplo no gráfico abaixo (Gráfico 01), podemos observar a média simples do talhão ao longo do tempo em relação às áreas com NDVI, onde os valores de -1 a 0 provenientes são exibidos em vermelho, de 0,0 a 0,33 são laranjas e amarelos, mas provenientes no mês que corresponde a época de colheita da cultura do algodão 20/07/2023, 0,33 a 0,66 alguma variação de verde e acima de 0,66 são verdes que ficam mais evidentes nas outras fases de desenvolvimento da cultura.

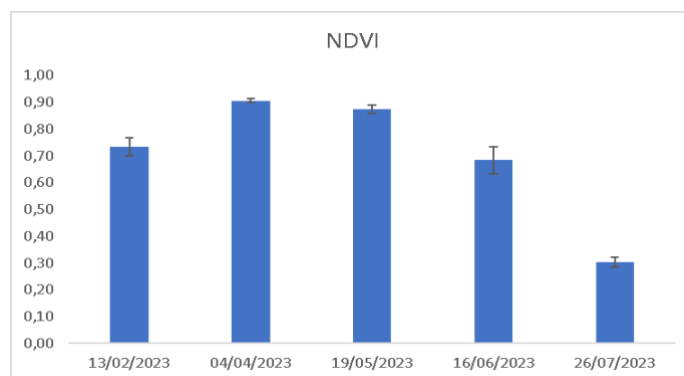
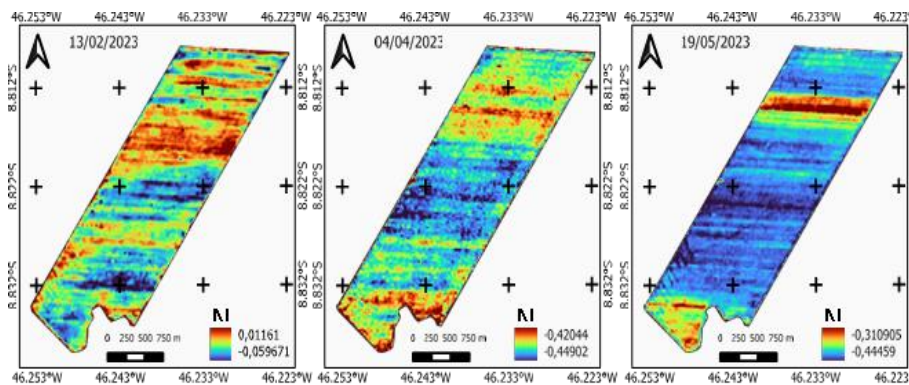


Figura 3. Média Simples do Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) da área de estudo.

Portanto, de acordo com os valores da imagem NDVI o talhão utilizado, possuiu durante a época de disposição da cultura valores em quase todos os meses próximos a 0,5 o que sugere vegetação verde cobrindo densamente o solo. De outra forma, valores próximos a 0,1

indicariam vegetação cobrindo esparsamente o solo, ou vegetação senescente ou seca o que ficou evidente somente no período de 27/07/2023. Na faixa do visível, observou-se menor reflectância também na área no período de 04/04/2023, indicativo do melhor estado fisiológico da cultura, ou seja, como a reflectância foi menor, maior parte da radiação eletromagnética foi absorvida pelos pigmentos fotossintetizantes no mesófilo foliar. Isto indica que as plantas apresentavam maior quantidade de pigmentos fotossintetizantes, responsáveis pela coloração verde das folhas.

Verifica-se que a constatação de nuvens resulta em uma diminuição no valor do NDVI e pode levar a uma interpretação equivocada devido à sua semelhança com solo descoberto e áreas urbanas. Por outro lado, o NDMI na Figura 4, apresenta o efeito contrário, uma vez que a presença de nuvens causa um aumento nos valores e pode gerar confusão devido à sua semelhança com florestas e culturas agrícolas com um alto vigor vegetativo. O mapa mostra vividamente a distribuição espacial do estresse hídrico no talhão, no mês de fevereiro período em que o algodão está na fase vegetativa ou seja, tem início com a germinação das plantas, que varia entre 35 e 45 dias, dependendo do ciclo da cultivar, demonstrou o comportamento muito baixa de água foliar, evidenciando cerca de -0,05, ao ser comparado ao mês de maio, que foi de 0,44, nota-se que a umidade na superfície do solo fortalece o desenvolvimento da vegetação e a expansão foliar das plantas e no processo fotossintético. A água foliar durante essa fase do algodão ajuda a fornecer os nutrientes necessários para o crescimento saudável das plantas.



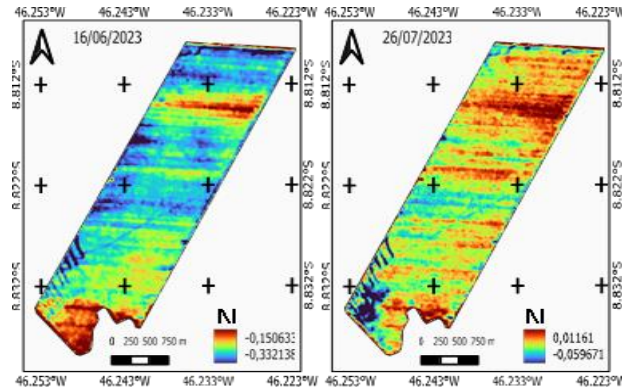


Figura 4. Índice de umidade de diferença normalizada (NDMI) da área de estudo.

Os dados demonstram que essa evolução é marcada pelos níveis de maturidade da cultura. Ao comparar as imagens de NDVI e NDMI, fica evidente onde as perdas de umidade acontecem, principalmente ao observarmos o período fisiológico que corresponde ao mês de julho, durante a fase final do desenvolvimento da lavoura. Nesse estágio, representado pela abertura dos capulhos e da colheita, os níveis de NDMI atingem novamente  $-0,05$ , caracterizando uma baixa cobertura de planta.

A Figura 5 ilustra a média simples da variação da umidade ao longo do tempo. É relevante ressaltar que os valores do NDMI oscilam durante o período de crescimento devido à ligeira diferença na reflexão das plantas em cada fase fenológica. Os valores de média mais baixas indicando o estresse hídrico com valores próximos de  $-1$ , ocorreram no mês de 04/04/2023 em 105 dias após o plantio, já no estágio de botões florais. Além disso, há uma correlação interessante entre o NDVI e o NDMI onde a presença de estresse hídrico, indicado pelos valores de NDVI, pode ser confirmado pela observação de um NDVI significativamente inferior à média.

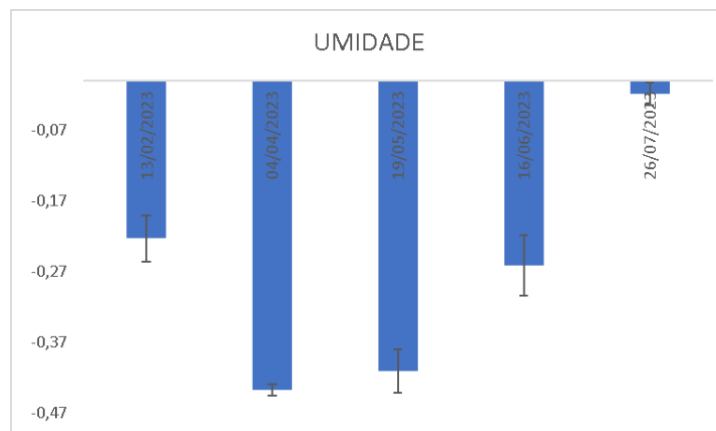


Figura 5. Média Simples do Índice de umidade de diferença normalizada (NDMI) da área de estudo.

Os resultados obtidos para os índices do SAVI (Figura 6 ) confirmaram as expectativas, demonstrando uma maior sensibilidade aos níveis da vegetação. Isto ocorre porque a constante "L", que foi previamente discutida, reduz a influência espectral do solo no cálculo do SAVI. Dessa forma, nos estágios iniciais do ciclo de crescimento da cultura, caracterizados pela presença de pouca vegetação ou pela presença de plantas daninhas, o SAVI se mostra como um indicador confiável.

Apesar disso, o valor atribuído à constante "L" (neste caso, igual a 0,5) teve pouca influência no cálculo do SAVI, ocasionando mínimas alterações nos resultados em comparação com o índice NDVI. Ao seguir os resultados obtidos pelo NDVI, é possível observar, mesmo com algumas variações, que o SAVI na análise multitemporal fornece informações sobre o aumento tanto da distribuição espacial quanto da densidade da vegetação na cultura do algodão.

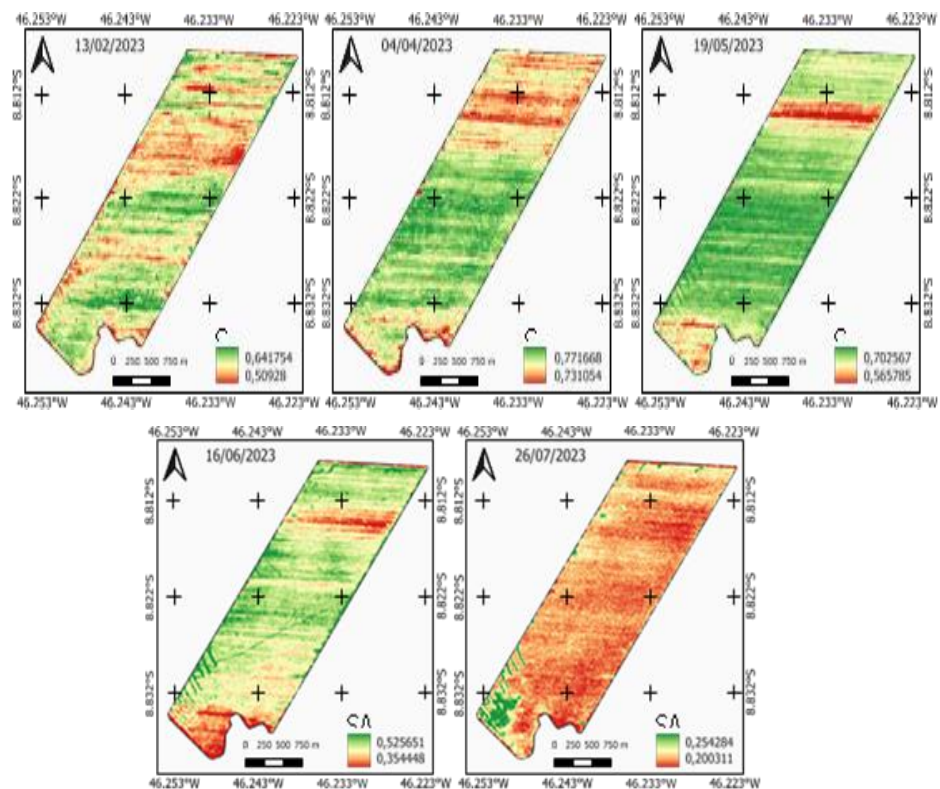


Figura 6. Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) da área de estudo.

No início do ciclo de cultivo, quando há pouca vegetação ou presença de ervas daninhas, o índice SAVI é um indicador confiável. Nesse estágio, a cobertura vegetal é parcial e os dados obtidos pelo satélite SENTINEL FORAM uma combinação da cultura em crescimento e do

solo e os valores positivos do SAVI indicam vegetação saudável. A ( Figura 7) mostra a média simples dos valores do índice onde quanto mais próximo de 1, mais densa é a vegetação, o que podemos observar com maior representatividade com média de 0,73 no mês de 04/04/2023, esse período representa o surgimento dos botões florais, fase do algodão que é de grande importância para o desenvolvimento dos nós.

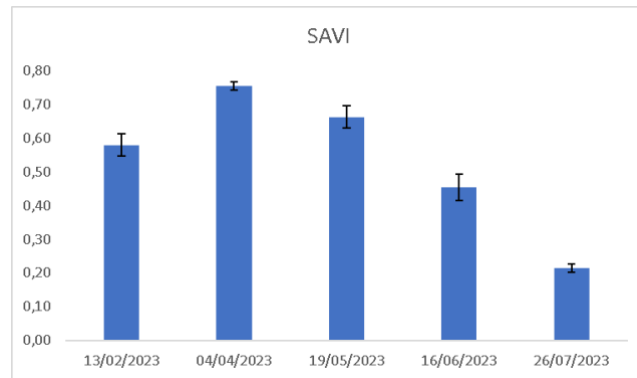


Figura 7. Média Simples do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) da área de estudo.

As áreas mais verdes ou com valores de SAVI mais altos indicam vegetação mais saudável dentro do talhão, em relação às menores médias estão no período de estágio final da cultura e colheita com 0,21. Nessa fase os Valores negativos indicam solo exposto ou condições não favoráveis para o crescimento das plantas.

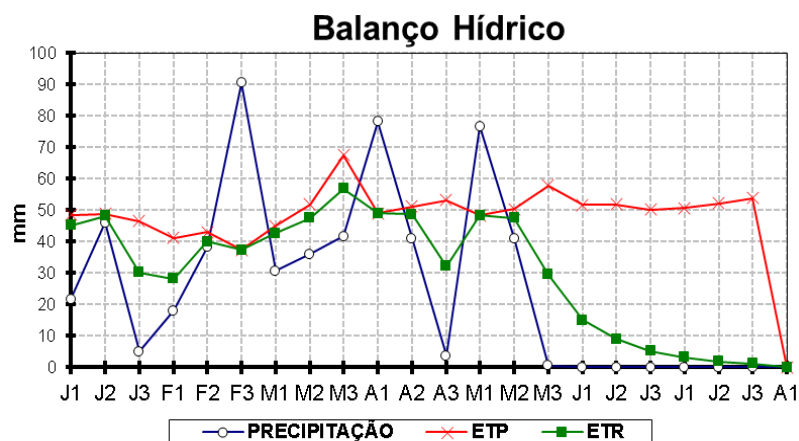


Figura 8. O Gráfico do balanço hídrico sequencial para Balsas–MA, método de Thornthwaite e Mather (1955), para o período de JAN a JUL de 2023. precipitação; ETP = evapotranspiração potencial; ETR = evapotranspiração real.

O modo como as precipitações são distribuídas durante o ciclo da cultura em escala diária impacta na produtividade final da cultura e na variação desse índice entre as diferentes safras (Jones et al. 2003; Koo e Cox 2015). Os estádios de crescimento da cultura diferem quanto à

tolerância ou sensibilidade aos fatores ambientais, como a falta ou excesso de água disponível no solo.

Em relação ao balanço hídrico (Figura 8) observa-se que o terceiro decêndio do mês de fevereiro (F3) apresentou maior acumulado com total de 90,5 mm de precipitação. Durante o período analisado houve decêndios sem precipitação, isso pode ser observado nos meses que correspondem aos estágios finais de desenvolvimento da cultura e se inicia a colheita na região. O déficit de chuvas é observado desde do primeiro decêndio de junho (J1) a julho no decêndio (J3). É importante ressaltar que dez dias sem chuvas durante o ciclo de cultivo pode ser suficiente para causar estresse hídrico no algodoeiro, dependendo das características do solo e da demanda atmosférica, resultando na queda dos botões florais e, conseqüentemente, afetando a produtividade e qualidade da lavoura.

Os níveis de evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) se mantêm com valores bem próximos durante os decêndios de fevereiro (F1) até o (A2) do mês de agosto. No entanto, no terceiro decêndio de agosto (A3), os valores começam a divergir, com a ETR apresentando variações significativas, variando de 1,2 mm em maio (M2) a 47,5 mm em julho (J3). Já a ETP não apresentou uma variabilidade muito significativa nos valores durante esse intervalo, o menor foi de 37,4 no mês de junho (J3) e o maior foi 67,6 mm no mês de março (M3). Observa-se ainda que, em geral, a evapotranspiração da cultura apresentou valores mais elevados após a chuva quando, a maior disponibilidade de água no solo associou-se a uma maior disponibilidade da energia disponível para o processo de evapotranspiração (RODRIGUES, 2003; ROSENBERG et al., 1983)

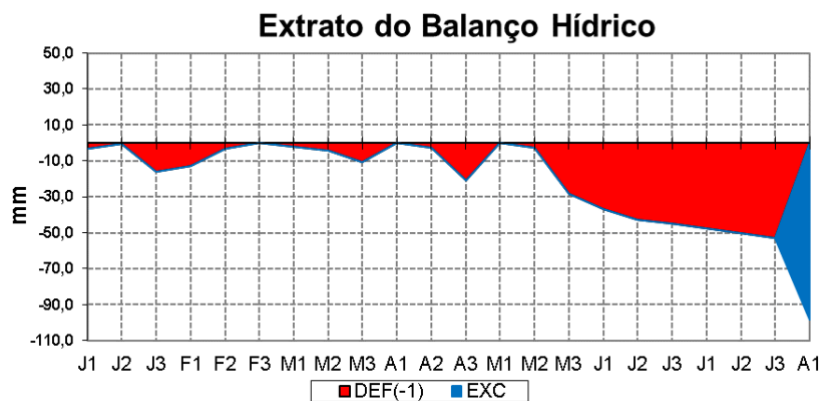


Figura 9. Gráfico do extrato do balanço hídrico sequencial para Balsas-MA, método de Thornthwaite e Mather (1955), para o período de JAN a JUL de 2023. DEF = deficiência hídrica e EXC = excedente hídrico.

Na Figura 9, durante todo o período analisado a reposição hídrica não obteve valores significativos, ou seja não ocorreu excedente, no mesmo tornou-se mais expressiva a água retirada no solo relacionando uma função sequencial dos valores negativos de P-ETP ou seja

perda potencial acumulada, somente no final do ciclo vegetativo do algodão, já adentrando a colheita no 3º decêndio de julho estendendo-se a agosto com -98,3 mm. A quantidade de água necessária para atender às necessidades hídricas do algodoeiro pode variar entre 500 mm e 1.500 mm (Beltrão et al., 2015). Para plantas de ciclo curto (120 a 130 dias) e médio (140 a 160 dias), a quantidade de água necessária pode variar entre 500 mm e 700 mm (Chiavegato et al., 2009). A demanda hídrica é crescente até o pico de florescimento, quando o uso diário pela cultura atinge 8 mm, decrescendo gradativamente até a maturidade dos últimos frutos (Freeland et al., 2010).

Assim, a efetiva distribuição das chuvas desempenha um papel crucial na produção. Se, durante o período que abrange o florescimento e o enchimento dos frutos, ocorrer uma prolongada escassez de chuvas, especialmente em solos com baixa capacidade de armazenamento e fornecimento de água, o ciclo da cultura pode ser antecipado. Isso se deve à perda de frutos mais tardios devido ao abortamento ou desenvolvimento inadequado.

### **3. CONCLUSÃO**

A análise da correlação entre imagens, e os índices de vegetação levando em consideração suas características e resolução, junto com a avaliação dos estresses hídricos na cultura do algodão, revelou padrões espaciais críticos durante o ciclo de plantio e colheita. Essas observações são essenciais para decisões informadas, especialmente na gestão da água e adaptação a condições climáticas variáveis. A introdução do sensor Sentinel e a abordagem multiespectral destacaram-se como ferramentas valiosas para monitorar a dinâmica das plantações de algodão, proporcionando dados precisos para aprimorar as práticas agrícolas.

O balanço hídrico revelou padrões notáveis, destacando o terceiro decêndio de fevereiro como o mais chuvoso, enquanto os decêndios de junho e julho apresentaram déficit hídrico para o algodoeiro. A análise dos níveis de evapotranspiração potencial (ETP) e evapotranspiração real (ETR) revelou uma relação próxima até agosto, quando divergiram, indicando variações significativas na ETR. O balanço hídrico sequencial destacou que a reposição hídrica foi limitada, tornando-se mais evidente a retirada de água do solo, culminando em déficit hídrico no final do ciclo vegetativo, estendendo-se à colheita. Esses resultados são essenciais para compreender as demandas hídricas da cultura do algodão, que podem variar consideravelmente.



A efetiva distribuição de chuvas, especialmente durante o florescimento e enchimento dos frutos, desempenha um papel crucial na determinação do ciclo da cultura. Escassez prolongada de chuvas nesses estágios pode antecipar o ciclo devido ao abortamento ou desenvolvimento inadequado dos frutos. Assim, a gestão adequada da água, com base nas condições climáticas e demandas específicas da cultura, é vital para otimizar a produção sustentável de algodão na região estudada. A combinação desses dados mostrou-se não apenas eficaz para o monitoramento multitemporal, mas também uma fonte rica de informações para impulsionar o avanço sustentável da agricultura em Balsas, Maranhão.

## REFERÊNCIAS

ZANQUETA, R.; FURLAN JR, E.; SILVA, N.M da; CARVALHO, L.H.; BARBOSA, M.R. Aplicação de regulador de crescimento para o cultivar de algodão (*Gossypium hirsutum* L. s. *latifolium*, Hutch.) IAC 20 RR e ITA 96, em diferentes densidades populacionais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ALGODÃO, 2., Ribeirão Preto - SP. 1999. Anais... Ribeirão Preto, 2001 ,p.439-441.

OOSTERHUIS, D.M. Growth and development of a cotton plant. Fayetteville: University of Arkansas, Arkansas Cooperative Extension Service, 1992. 24p. (MP332-4M-9-92R)

WANJURA, D.F.; BUXTON, D.R. Hypocotyl and radicle elongation of cotton as affected by soil environment. *Agronomy Journal*, Madison, v.64, p.431-434, 1972<sup>a</sup>

BAKER, D.N.; LANDIVAR, J.A. Simulation of plant development in GOSSYPIUM. In: HODGES, H.F. (ed.). *Cotton Physiology*. Memphis: The Cotton Foundation, 1991. p.245-257.

KERBY, T.A.; KEELEY, M. Growth and development of acala cotton. Berkeley: University of California. 1987. (Bull. 1921, Agric. Exp. Sta., University of California)

KERBY, T.A.; HAKE, K. Monitoring cotton's growth. In: KERBY, T.A.; HAKE, K; HAKE, S. (eds.). *Cotton Production*. Oakland: ANR Publications, 1993.

GRIMES, D.W.; EL-ZIK, K.M. Cotton. In: STEWART, B.A.; NIELSEN, D.R. *Irrigation of Agricultural Crops*. Madison: American Society of Agronomy, 1990. p.741-773.

Kastens, J.H.; Kastens, T.L.; Kastens, D.L.A.; Price, K.P.; Martinko, E.A.; Lee, R.Y. Image masking for crop yield forecasting using AVHRR NDVI time series imagery classification in the U.S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, v. 99, p. 341-356, 2005.

MOTOMIYA, A. V. A.; MOLIN, J. P.; CHIAVEGATO, E. D. Utilização de sensor óptico ativo para detectar deficiência foliar de nitrogênio em algodoeiro. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 137-145, 2009

POZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

HANSEN, M.C.; LOVELAND, T.R. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, v. 122, p. 66–74, 2012. DOI 10.1016/j.rse.2011.08.024.

HANSEN, M. C.; POTAPOV, P. V.; MOORE, R.; HANCHER, M.; TURUBANOVA, S. A.; TYUKAVINA, A.; [et al.]. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. *Science*, v. 342, n. 6160, p. 850-853, 2013. DOI 10.1126/science.1244693.

ESA (European Space Agency). Sentinel-2 User Handbook, 2015, 64 p. Disponível em: [https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2\\_User\\_Handbook](https://earth.esa.int/documents/247904/685211/Sentinel-2_User_Handbook). Acesso em: 14 dezembro 2023.

SA (European Space Agency). Technical Guide Overview. Disponível em: <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/sentinel-technical-guides>. Acesso em: 14 dezembro. 2023.

LI, J.; ROY, D. P. A Global Analysis of Sentinel-2a, Sentinel-2b and Landsat-8 Data Revisit Intervals and Implications for Terrestrial Monitoring. *Remote Sensing*, v. 9, n. 9, p. 902, 2017. DOI 10.3390/rs9090902.

ABRAPA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO). **Algodão no mundo**. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>. Data de Acesso: 05/10/2022.

ABRAPA (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE ALGODÃO). **Algodão no mundo**. Disponível em: <https://www.abrapa.com.br/Paginas/dados/algodao-no-mundo.aspx>. Data de Acesso: 05/10/2022.

OLIVEIRA, M. F. **Variação da germinação da semente de algodão em função do período de colheita**. Disponível em: <http://repositorio.fama-ro.com.br/bitstream/123456789/204/1/TCC%20Manoel%20Fernando%20.pdf>. Data de 18/10/2022.

BELTRÃO, N. E. M.; ARAÚJO, A. E. Algodão: o produtor pergunta, a Embrapa responde. **Embrapa Informação Tecnológica. Brasília – DF, 2004, 265 p.**

COÊLHO, J. D. **Produção de algodão**. 2018. Disponível em: [https://bnb.gov.br/s482/dspace/bitstream/123456789/988/1/2018\\_CDS\\_56.pdf](https://bnb.gov.br/s482/dspace/bitstream/123456789/988/1/2018_CDS_56.pdf). Data de acesso: 17/10/2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). Valor Bruto da Produção agropecuária (VBP). Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/politica-agricola/valor-bruto-da-producao-agropecuaria-vbp>. Acesso em 14 de dezembro de 2023.

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento. Terceiro levantamento de 2015 – Grãos. Brasília, 2015.

BELTRÃO, N. E. M.; SOUZA, J. G.; GUERRA, J. S.; TAKIZAWA, E. Manejo cultural do algodoeiro herbáceo na região do cerrado, Campina Grande, 1999.

SEVERINO, L. S.; RODRIGUES, S. M. M.; CHITARRA, L. G.; FILHO, J. L.; CONTINI, E.; MOTA, M.; RENNER, M.; ARAÚJO, A. **Produto: ALGODÃO - Parte 01: Caracterização e Desafios Tecnológicos**. Embrapa Algodão – Nota Técnica/Nota Científica, 2019. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/1109655/1/SerieDesafiosAgronegocioBrasileiroNT3Algodao.pdf>. Data de acesso: 29/10/2022.

GERMANO, P. E. A. **Análise das empresas SLC Agrícola e São Martinho entre 2009 e 2019: aspectos setoriais, ESG e econômico-financeiros**. Disponível em: <https://repositorio.unicamp.br/Busca/Download?codigoArquivo=548021>. Data de acesso: 07/10/2022.

CARDOSO, D. B. O.; MUNDIM, F. M.; SOUSA, L. B. Variabilidade genética e coeficiente de determinação em genótipos de algodoeiro quanto a qualidade da fibra. *Revista Verde*. Pombal, v. 10, n. 3, p 66 71, jul.- set. 2015.

VASCONCELOS, U. A. A.; CALVACANTI, J. J. V.; FARIAS, F. J. C.; VASCONCELOS, W. S.; SANTOS, R. C. Diallel analysis in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) for water stress tolerance. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*. 18. 24-30. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1984-70332018v18n1a4>

CHIAVEGATO, E. J.; SALVATIERRA, D. K.; GOTTARDO, L. C. B. Algodão. In: MONTEIRO, J. E. B. A. *Agrometeorologia dos Cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola. Parte II – Cultivos Temporários*. Brasília – DF. Cap 2. p. 33 - 49, 2009.

FERREIRA, F. M. **Perdas na colheita e qualidade da fibra de cultivares de algodão adensado em função de sistemas de colheita**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, p. 59. 2013.

ROSSI, A. C. M; DE SOUZA, E. R. C; DA SILVA, M. G. Reguladores de crescimento na cultura do algodão (*Gossypium hirsutum* L.). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 9, p. e821997951-e821997951, 2020.

OOSTERHUIS, D.M. Growth and development of a cotton plant. Fayetteville: University of Arkansas, Arkansas Cooperative Extension Service, 1992. 24p. (MP332-4M-9-92R)

SILVA, B. B. da; RAO, T. V. R. The CWSI variations of a cotton crop in semi-arid rfeigion of Northeast Brazil. *Journal of Arid Environments*, v. 62, p. 649-659, 2005.

SANTOS, W. O.; SOBRINHO, J. E.; DE MEDEIROS, J. F.; DE MOURA, M. S. B & DA COSTA NUNES, R. L. Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do semiárido brasileiro. *Irriga*, v. 19, n. 4, p. 559, 2014. Disponível em: < <http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/529>>. Acesso em: 12 jun. 2019.

SOBENKO, L. R.; FANAYA JÚNIOR, E. D.; SANTOS, O. N. A.; MARQUES, P. A. A. Estimativa da necessidade de irrigação na cultura do milho safrinha em sorriso-mt por métodos agroclimatológicos. *Revista Brasileira de Santana et al. Revista SUSTINERE*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 515-538, jul-dez, 2020 *538 Milho e Sorgo*, v. 15, n. 3, p. 544-557, 2016. Disponível em: < <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/744>>. Acesso em: 31 nov. 2023.

SANTOS, W. O. Ajuste da evapotranspiração de referência estimada através de 10 métodos em Mossoró-RN à diferentes distribuições densidade de probabilidade. 2010. 222 f. Monografia (Graduação em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido , Mossoró, 2010.

SOBENKO, L. R.; FANAYA JÚNIOR, E. D.; SANTOS, O. N. A.; MARQUES, P. A. A. Estimativa da necessidade de irrigação na cultura do milho safrinha em sorriso-mt por métodos agroclimatológicos. *Revista Brasileira de Santana et al. Revista SUSTINERE*, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2, p. 515-538, jul-dez, 2020 *538 Milho e Sorgo*, v. 15, n. 3, p. 544-557, 2016. Disponível em: < <http://rbms.cnpms.embrapa.br/index.php/ojs/article/view/744>>. Acesso em: 12 nov. 2023.

BARICHIVICH, J.; OSBORN, T.; HARRIS, I.; VAN DER SCHRIER, G.; JONES, P. Drought: monitoring global drought using the self-calibrating palmer drought severity index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 100(9), p. S39-S40, 2019.

CHEN, Y.; WANG, H.; HU, W.; WANG, S.; WANG, Y.; SNIDER, J. L.; ZHOU, Z. Combined elevated temperature and soil waterlogging stresses inhibit cell elongation by altering osmolyte composition of the developing cotton (*Gossypium hirsutum* L.) fiber. *Plant Science*, v. 256, p. 196-207, 2017.

NIU, J.; ZHANG, S.; LIU, S.; MA, H.; CHEN, J.; SHEN, Q.; ZHAO, X. The compensation effects of physiology and yield in cotton after drought stress. *Journal of plant physiology*, v. 224, p. 30-48, 2018. Disponível em: . Acesso em: 08 dez. 2023.

HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. *Annual review of plant physiology*, v. 24(1), p. 519-570, 1973.

MEEKS, C. D.; SNIDER, J. L.; BABB-HARTMAN, M. E.; BARNES, T. L. Evaluating the mechanisms of photosynthetic inhibition under growth-limiting, early-season water deficit stress in cotton. *Crop Science*, v. 59(3), p. 1144-1154, 2019. Disponível em: . Acesso em: 16 dez. 2023.

MEEKS, C. D.; SNIDER, J. L.; PORTER, W. M.; VELLIDIS, G.; HAWKINS, G.; ROWLAND, D. Assessing the utility of primed acclimation for improving water savings in cotton using a sensor-based irrigation scheduling system. *Crop Science*, v. 57(4), p. 2117-2129, 2017. Disponível em: . Acesso em: 16 dez. 2023.

SARWAR, M.; SALEEM, M. F.; ULLAH, N.; ALI, S.; RIZWAN, M.; SHAHID, M. R.; ALYEMENI, M. N.; ALAMRI, S. A.; AHMAD, P. Role of mineral nutrition in alleviation of heat stress in cotton plants grown in glasshouse and field conditions. *Scientific reports*, v. 9(1), p. 1-17, 2019.

CHIAVEGATO, E. J.; SALVATIERRA, D.K.; GOTTARDO, L.C.B. Algodão In: MONTEIRO, J. E. B. A. (Org.). *Agrometeorologia dos cultivos: o fator meteorológico na produção agrícola*. 1. ed. Brasília, DF: INMET, 2009. p. 35-49.

LI, M.; ZHAO, Z.; ZHANG, Z.; ZHANG, W.; ZHOU, J.; XU, F.; LIU, X. Effect of boron deficiency on anatomical structure and chemical composition of petioles and photosynthesis of leaves in cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Scientific Reports*, v.7, p.4420, p.1-9, 2017. DOI:10.1038/s41598-017-04655-z

NOVO, E. M. L. de M. *Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações*. 4 ed. São Paulo: Blucher, 2010.

NOVO, Evelyn, M. L. de Moraes. *Sensoriamento Remoto Princípios e Aplicações*. 3º ed. Revisada e Ampliada, p.363, 2008.

USGS GLOBAL VISUALIZATION VIEWER (Usa) (Org.). *Science for a changing world*. Disponível em: <http://glovis.usgs.gov/>. Acesso em: 14 de dezembro de 2023.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). User Guides - Sentinel-2 MSI - Revisit and Coverage - Sentinel Online. 2020. Disponível em: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/userguides/sentinel-2-msi/revisit-coverage>. Acesso em: 22 de junho de 2021.

SILVA, José Afonso da. Direito ambiental constitucional. São Paulo: Malheiros, 2000.

DANTAS, Caroline Bastos; MAGALHÃES, Jose Luiz Quadros de. Cidades, espaço urbano e participação popular uma leitura constitucionalmente adequada sob a ótica do paradigma de Estado Democrático de Direito. 2004. Dissertação (Mestrado em Direito) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

BRANDAO, Z. N.; ZONTA, J. H.; SHIRATSUCHI, L. S. Sensoriamento remoto na cultura do algodão. In: TULLIO, L. (Org.). Aplicações e princípios do sensoriamento remoto. Ponta Grossa: Atena Ed., 2018. cap. 19, p. 209-224

Wiegand, C.L.; Gansman, HW.; Cuellar, J.A.; Gergberman, A.H.; Rinhardson, A.J. Vegetation density as deduced from ERTS-1MSS response. In: Proceedings ERTS SIMPOSIUM, 3,1974, Washington. Proceedings. Washington,DC:[sn], 1974. v1, p93-116.

Rouse, J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In Earth Resources Tecnology Satellite- 1 Symposium,3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec. A, p. 309-317.

LIU, W. T. H. Aplicações de sensoriamento remoto. 2. ed. Campo Grande, MS. 908 p. 2015.

BERTOLIN, Natalia & FILGUEIRAS, Roberto & VENANCIO, LUAN & MANTOVANI, Everardo. (2017). Predição da produtividade de milho irrigado com auxílio de imagens de satélite. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada. 11. 1627-1638. 10.7127/rbai.v11n400567

HUETE, A. R. A. Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). Remote Sensing of Environment, v. 25, n. 3, p.205-309, Aug. 1988.

RUDORFF, B. F. T.; BERKA, L. M. S.; XAVIER, A. C.; MOREIRA, M. A.; DUARTE, V.; ROSA, V. G. C.; SHIMABUKURO, Y. E. Estimativa de área plantada com cana-de-açúcar em municípios do estado de São Paulo por meio de imagens de satélites e técnicas de geoprocessamento: ano safra 2003/2004. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004a. 47 p. (INPE-10791- RPQ/759).

LIU, H.; DAHLGREN, R. A.; LARSEN, R. E.; DEVINE, S. M.; ROCHE, L. M.; O' GEEN, A. T.; WONG, A. J. Y.; COVELLO, S.; JIN, Y. Estimating Rangeland Forage Production Using Remote Sensing Data from a Small Unmanned Aerial System (sUAS) and PlanetScope Satellite. Remote Sensing, v.11, p.595, 2019. <https://doi.org/10.3390/rs11050595>

WILSON, E. H.; SADER, S. A. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. Remote Sensing of Environment, v.80, n.3, p.385-396, 2002.

JIN, S.; SADER, S. A. Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. Remote Sensing of Environment, v.94, n.3, p.364-372, 2005.

TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v.8, n.2, p.127-150. 1979.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE) Projeto de reavaliação metodológica e de construção de painéis de amostras de área para estimativas de safras agrícolas. Contrato IBGE/IPEA, Rio de Janeiro, 1989. 27p.

AGUIAR, G. A. de. Revisão geológica da bacia paleozóica do Maranhão. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 25., 1971, São Paulo. Anais... São Paulo: SBG, 1971. p. 113-122.

CORREIA FILHO, F. L. Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea do Estado do Maranhão: proposta técnica. Teresina: CPRM, 2009. 6 f. Inédito.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. A. Sensoriamento remoto em agricultura. São Paulo: Oficina de Textos, 2017.

ROUSE, J.W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: 3° ERTS Symposium, NASA, 1974, p. 309–317.

HUETE, A et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, p. 195-213, 2002.

JENSEN, J. R. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

HUETE, A et al. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, v. 83, p. 195-213, 2002.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geography Review*, Nova Iorque, v. 38, n. 1, p. 54-101, 1948.

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

CUPOLILLO, F. Diagnóstico hidroclimatológico da Bacia do Rio Doce. Saarbrücken, Alemanha: Novas Edições Acadêmicas, 2015. v. 1. 224p.

MURTHY, C. S.; SETHI SAI, M. V. R.; CHANDRASEKAR, K.; ROY, P. S. Spatial and temporal responses of different crop-growing environments to agricultural drought: a study in Haryana state, India using NOAA AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing*, [s.l.], v. 30, n. 11, p.2897-2914, 2009. <https://doi.org/10.1080/01431160802558626>.

Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C. H., Boote, K.J., Batchelor, W. D., Hunt, L. A., Wilkens, P. W., Singh, U., Gijsman, A. J., & Ritchie, J. T. (2003). The DSSAT Cropping System Model. *European Journal of Agronomy*, 18, 235–265.

Koo, J., & Cindy, C. (2015). Effects of rainfall variability on maize yields. In K. Sebastian (Ed.). *Atlas of African Agriculture Research & Development* (pp. 44-45). Washington, USA: International Food Policy Research Institute.

RODRIGUES, M. F. G. Necessidades hídricas, crescimento e desenvolvimento do algodoeiro herbáceo, cultivar BRS 201. 2003. 132f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB