



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**FABIANO FAGUNDES**

**ANÁLISE DO USO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO**

**Palmas/TO**

**2021**

**FABIANO FAGUNDES**

**ANÁLISE DO USO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA  
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental da Fundação Universidade Federal do Tocantins como requisito para a obtenção do título de mestre em Engenharia Ambiental. Orientador: Dr. Fernán E. Vergara Figueroa.

**Palmas/TO**

**2021**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

F156a Fagundes, Fabiano.

Análise do uso da água para irrigação na bacia hidrográfica do rio Formoso. / Fabiano Fagundes. – Palmas, TO, 2021.

83 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) Profissional em Engenharia Ambiental, 2021.

Orientador: Fernán Enrique Vergara Figueroa

1. Produtividade da água. 2. Gestão dos recursos hídricos. 3. Irrigação da soja. 4. NDVI. I. Título

**CDD 628**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

# FOLHA DE APROVAÇÃO

FABIANO FAGUNDES

## ANÁLISE DO USO DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Nível Mestrado Profissional, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental. A presente dissertação foi aprovada pela Banca Examinadora composta pelos membros abaixo relacionados:

### BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente  
 Fernan Enrique Vergara Figueroa  
Data: 01/07/2021 11:51:34-0300  
CPF: 966.468.027-34  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Dr. Fernán Enrique Vergara Figueroa (Presidente)  
Universidade Federal do Tocantins

Documento assinado digitalmente  
 Fernan Enrique Vergara Figueroa  
Data: 01/07/2021 11:52:36-0300  
CPF: 966.468.027-34  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Dr. Girlene Figueiredo Maciel (Membro titular interno)  
Universidade Federal do Tocantins

Documento assinado digitalmente  
 Fernan Enrique Vergara Figueroa  
Data: 01/07/2021 11:53:28-0300  
CPF: 966.468.027-34  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Dr. Felipe de Azevedo Marques (Membro titular externo)  
Universidade Federal do Tocantins

Documento assinado digitalmente  
 Fernan Enrique Vergara Figueroa  
Data: 01/07/2021 11:54:22-0300  
CPF: 966.468.027-34  
Verifique em <https://verificador.iti.br>

---

Dr. André Fróes de Borja Reis (Membro titular externo)  
Universidade de São Paulo

Aprovada em: 07 de maio de 2021

O evento foi realizado por meio de vídeo conferência, conforme Art. 56-A da Resolução nº 13, de 22 de março de 2017, pela necessidade cautelar de distanciamento social em virtude da pandemia causada pelo coronavírus (SARS-CoV-2).

## AGRADECIMENTOS

À minha querida companheira Mavia;

Ao Professor Dr. Fernán E. Vergara, pela excelente orientação, paciência e credibilidade.

Apresentando grande virtude ao “polir” e nortear este trabalho;

Aos colegas do curso pela integração e cooperação nas disciplinas e trabalhos o que tornou esta caminhada menos árdua;

À equipe do Instituto de Atenção às Cidades da Universidade Federal do Tocantins / Gestão de Alto Nível, pela disponibilidade dos dados que balizaram este trabalho, em especial ao Professor Dr. Felipe de Azevedo Marques e ao Engenheiro Dyego Santana Reis;

Ao amigo e incentivador Me. Julierme Siriano da Silva, sempre com boas ideias e soluções;

Ao Engº Florestal Igor Eloí Silva Machado, muito me auxiliou neste trabalho, quem abriu as portas para a aplicação do georreferenciamento.

E ao sempre solícito Prof. Dr. André Fróes que contribuiu muito para a organização de ideias e o incentivo à pesquisa para este estudo.

## RESUMO

Com a possibilidade iminente de escassez hídrica para um cenário próximo, torna-se indispensável a realização de estudos que propõem parâmetros confiáveis para a gestão das águas. Na bacia hidrográfica do rio Formoso há a intensa produção de arroz no período chuvoso e de forma secundária, no período de seca, cultiva-se a soja usada para semente. Para se manter o cultivo de soja nesse período, necessita-se da retirada de água dos rios da região, que passam anualmente por estresse hídrico. Nesse sentido este trabalho apresenta uma análise do uso da água para irrigação de dezoito empreendimentos localizados na bacia hidrográfica do rio Formoso, no período de plantio da soja na safra do ano de 2019, por meio de coeficientes relativos de produtividade da água. A análise foi possível por haver disponibilidade de dados reais de captação do recurso hídrico para a agricultura irrigada, frente ao Instituto de Atenção às Cidades / Gestão de Alto Nível, assim como foram adquiridos dados do Ministério Público do Tocantins, Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural, como também do Sistema de Informação para Gestão do CAR do estado do Tocantins. Dispostos o banco de dados, foram produzidas imagens georreferenciadas de monitoramento da produção agrícola pelo método NDVI para estabelecimento de parâmetros de relação como: volume de água captada pela produção estimada, volume de água captada pela área irrigada, extensão de canais pela área irrigada e volume de água captada por extensão de canais. Como resultados, pode-se influir que 72 % dos empreendimentos praticaram irrigação após a segunda quinzena do mês de agosto, considerado por especialistas como fato crítico às condições da bacia hidrográfica do rio Formoso, assim como é apontado disparidades em relação aos dias de captação, apresentando variação de 335 %. Na verificação da lâmina líquida de irrigação para a produção da soja houve diferença de 839 % entre o menor e o maior valor de captação. Quanto aos coeficientes foi possível apontar uma variação de: 859 % para o volume de água captada pela produção estimada, 927 % para o volume de água captada pela área irrigada, 552 % para a extensão de canais pela área irrigada e 3.000 % para o volume de água captada por extensão de canais. Por fim, foi discutido os fatores que possivelmente poderiam causar as variações dos coeficientes encontrados.

**Descritores:** Irrigação da soja; Produtividade da água; NDVI; Gestão dos recursos hídricos.

## ABSTRACT

With the imminent possibility of water scarcity for a nearby scenario, it is essential to carry out studies that propose reliable parameters for water management. In the hydrographic basin of the Formoso river, there is an intense production of rice in the rainy season and, secondarily, in the dry season, soybeans are cultivated for seed. In order to maintain the cultivation of soy during this period, it is necessary to remove water from the region's rivers, which annually undergo water stress. In this sense, this work presents an analysis of the use of water for irrigation of eighteen projects located in the hydrographic basin of the Formoso river, during the soybean planting period in the 2019 crop year, through relative coefficients of water productivity. The analysis was possible due to the availability of real data on water resource capture for irrigated agriculture, from the Institute of Attention to Cities / High Level Management, as well as data from the Public Ministry of Tocantins, National System of Rural Environmental Registration, as well as the CAR Management Information System of the state of Tocantins. Once the database was arranged, georeferenced images of agricultural production monitoring were produced by the NDVI method to establish relation parameters such as: volume of water abstracted by estimated production, volume of water abstracted by the irrigated area, extension of channels by the irrigated area and volume of water collected by extension of channels. As a result, it can be inferred that 72 % of the enterprises practiced irrigation after the second half of August, considered by specialists as a critical fact to the conditions of the Formoso river basin, as well as disparities in relation to the days of abstraction are pointed out, showing a variation of 335 %. In verifying the net irrigation depth for soybean production, there was a difference of 839 % between the lowest and the highest catchment value. As for the coefficients, it was possible to point out a variation of: 859 % for the volume of water abstracted by the estimated production, 927 % for the volume of water abstracted by the irrigated area, 552 % for the extension of channels by the irrigated area and 3,000 % for the volume of water collected by extension of channels. Finally, the factors that could possibly cause variations in the coefficients found were discussed.

Descriptors: Soybean irrigation; Water productivity; NDVI; Management of water resources.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Soja semente. ....	23
Figura 2 – Exemplo de canal de irrigação Primário. ....	29
Figura 3 - Ilustração da relação da coloração das folhas com o índice NDVI. ....	31
Figura 4 - Sub-bacias hidrográficas do rio Formoso. ....	34
Figura 5 - Balanço hídrico quantitativo por bacia hidrográfica da região do rio Formoso. ....	37
Figura 6 - Mapa de localização das áreas de estudos na bacia hidrográfica do rio Formoso...	38
Figura 7 - Fluxograma do processo metodológico para obtenção dos coeficientes relativos de produtividade da água.....	43
Figura 8 – Mapa de declividade em percentual dos empreendimentos da bacia do rio Formoso. ....	64
Figura 9 – Mapa NDVI, referente ao dia 09 de maio de 2019. ....	65
Figura 10 – Mapa NDVI, referente ao dia 25 de maio de 2019. ....	66
Figura 11 – Mapa NDVI, referente ao dia 10 de junho de 2019. ....	67
Figura 12 – Mapa NDVI, referente ao dia 26 de junho de 2019. ....	68
Figura 13 – Mapa NDVI, referente ao dia 12 de julho de 2019. ....	69
Figura 14 – Mapa NDVI, referente ao dia 28 de julho de 2019. ....	70
Figura 15 – Mapa NDVI, referente ao dia 13 de agosto de 2019.....	71
Figura 16 – Mapa NDVI, referente ao dia 29 de agosto de 2019.....	72
Figura 17 – Mapa NDVI, referente ao dia 14 de setembro de 2019. ....	73

## LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação qualitativa do índice Kappa.....	32
Tabela 2 - Vazões mínimas de referência da sub-bacia hidrográfica do rio Formoso. ....	37
Tabela 3 – Percentuais de falhas de dados na captação ( <i>no data</i> ) por empreendimento no período de cultivo. ....	39
Tabela 4 – Coeficiente de cultura (Kc) da soja. ....	40
Tabela 5 – Duração do ciclo da soja em dias para diferentes regiões do Brasil.....	42
Tabela 6 – Propriedades avaliadas com seus respectivos períodos de cultivo e de irrigação. .	46
Tabela 7 – Dados necessários para a determinação dos coeficientes. ....	48
Tabela 8 – Produtividade declarada dos empreendimentos da bacia hidrográfica do rio Formoso e a lâmina líquida de irrigação utilizada pelos produtores no cultivo da soja para o ano de 2019. ....	49
Tabela 9 – Coeficiente relacionado ao volume total captado pela produção estimada. ....	50
Tabela 10 - Coeficiente relacionado ao volume de água captada e a área irrigada. ....	51
Tabela 11 - Coeficiente relacionado a densidade de canais com a área irrigada.....	52
Tabela 12 - Coeficientes relacionados a quantidade de água extraída pela densidade dos canais irrigantes. ....	53
Tabela 13 - Apresentação dos Coeficientes - Grupo 1 .....	54
Tabela 14 - Apresentação dos Coeficientes - Grupo 2 .....	54
Tabela 15 – Apresentação dos Coeficientes - Grupo 3 .....	55
Tabela 16 – Classes de declividade. ....	63
Tabela 17 – Percentuais para os meses críticos do índice vegetativo acima de 0,75 das áreas irrigadas dos empreendimentos. ....	74

## LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 - Calendário da cultura de soja na bacia hidrográfica do rio Formoso.....	27
--	----

## LISTAS DE ABREVIACÕES

ANA - Agência Nacional de Águas

ABRASS - Associação Brasileira dos Produtores de Sementes de Soja

CAR – Cadastro Ambiental Rural

CIBRAZEM - Companhia Brasileira de Armazenagem

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CIBRAZEM - Companhia Brasileira de Armazéns

Conab - Companhia Nacional de Abastecimento

COOPERFORMOSO - Cooperativa Agroindustrial Rio Formoso Ltda

COOPERGRAN - Cooperativa Mista Rural Lagoa Grande Ltda

COOPERJAVA - Cooperativa Mista Rural Vale Javaé Ltda

DIRF - Distrito de Irrigação Rio Formoso

EUA – eficiência de uso da água ( $\text{kg.m}^{-3}$ )

ET - evapotranspiração

FAO - Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

GAN - Gestão de Alto Nível

GIRH - Gestão Integrada de Recursos Hídricos

ha - Hectare

HC - Heteromórfico Cinzento

HL - Laterita Heteromórfica

IAC – Instituto de Atenção às Cidades

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INMET - Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

LA - Latossolo Amarelo

MAPA - Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia

MMA - Ministério do Meio Ambiente

NDVI - Normalized Difference Vegetation Index ou Índice de Vegetação da Diferença

Normalizada

OSGeo - Open Source Geospatial Foundation

PBH – Plano de Bacia Hidrográfica

PNRH - Plano Nacional de Recursos Hídricos

POLOCENTRO - Programa de Desenvolvimento dos Cerrados

PROTERRA - Programa de Redistribuição de Terras e Agroindústria do Norte e Nordeste

PV - Podzólico Vermelho

SEAGRO/TO - Secretaria de Agricultura e Pecuária do Estado do Tocantins

SEMADES/TO - Secretária de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável do Estado do Tocantins

SEPLAN/TO - Secretaria do Planejamento e Meio Ambiente do Estado do Tocantins.

SEINF/TO - Secretária de Infraestrutura do Estado do Tocantins

SICAR - Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural

SIG-CAR - Sistema de Informação para Gestão do CAR

SNGRH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

SRHMA/TO - Secretária de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Tocantins

SRHU - Secretária de Recursos Hídricos e Ambiente Urbano

SUDECO, Superintendência para o desenvolvimento do Centro-Oeste brasileiro

UFT – Universidade Federal do Tocantins

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>13</b>
1.1	JUSTIFICATIVA	14
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivos Específicos	15
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>16</b>
2.1	DEMANDA HÍDRICA PARA IRRIGAÇÃO	16
2.2	EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA	18
2.2.1	Métodos de irrigação	20
2.3	SOJA PRODUZIDA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO	23
2.3.1	Captação de água para irrigação da soja	28
2.4	MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA	29
2.4.1	Determinação dos índices de vegetação	29
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>33</b>
3.1	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
3.1.1	Geologia e Geomorfologia	35
3.1.2	Vegetação e Clima	36
3.1.3	Características Hidrológicas	36
3.1.4	Localização dos Empreendimentos Analisados	38
3.2	PERÍODO DE CULTIVO / IRRIGAÇÃO	39
3.2.1	NDVI – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada	41
3.3	COEFICIENTES	43
3.3.1	Coefficiente 1 – Volume Captado por Produção de Soja	43
3.3.2	Coefficiente 2 - Volume captado por Área irrigada	44
3.3.3	Coefficiente 3 – Canais de irrigação por Área irrigada	45
3.3.4	Coefficiente 4 – Volume captado por Canais de irrigação	45
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>46</b>
4.1	DADOS DE CULTIVO DOS EMPREENDIMENTOS	46
4.2	DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES	47
4.2.1	Coefficiente 1 – Volume captado por Produção de soja	47
4.2.2	Coefficiente 2 - Volume captado por Área irrigada	51
4.2.3	Coefficiente 3 – Canais de irrigação por Área irrigada	52
4.2.4	Coefficiente 4 – Volume captado por Canais de irrigação	53
4.2.5	Coefficientes por grupos	53

4.3	NDVI - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA..	65
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>76</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>78</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Com a necessidade de estabelecer regras de uso dos recursos hídricos com maior eficiência o governo federal em 1997 aprova a Lei nº 9.433 que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH, assim como também cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SNGRH, estabelecendo diretrizes que visam assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.

O uso dos recursos hídricos para irrigação é uma prática, no país e no mundo, que emprega um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a necessidade do uso antrópico da água, tornando-se imprescindível em regiões áridas e semiáridas ou em regiões afetadas pela escassez do recurso hídrico em períodos específicos do ano, onde algumas culturas e safras só se viabilizam com a aplicação suplementar de água nestes períodos, embora a produção possa ser realizada com menores riscos no período chuvoso. Atualmente a irrigação é o principal uso de água no país, em termos de quantidade utilizada (ANA, 2018).

Em 2016 por consequência da crise hídrica, atribuída à falta de chuvas, a bacia hidrográfica do rio Formoso ganhou notoriedade e passou a ser assunto de intensos debates sociais. O nível de água nos principais rios da região chegou a condições críticas, o que obrigou a criação de forças tarefa para resgate de botos e demais espécies da fauna local. O ecossistema local foi comprometido afetando inclusive parte da produção agrícola da região.

O apelo social tomou conta do itinerário tocantinense e fez com que o Ministério Público - MP intervisse para averiguar irregularidades na captação de água para irrigação de lavouras.

Em 2017, o Instituto de Atenção às Cidades da Universidade Federal do Tocantins (IAC/UFT), por meio de seu relatório – Fase B, apresentou dados afirmando que o consumo de água para outorga irrigada consome 99,6 % da água da bacia hidrográfica, demanda que gerou a necessidade de incrementar o monitoramento para evitar que o nível ficasse abaixo do necessário. Ficou observado que o principal problema era a falta de informações, tanto da oferta quanto da demanda de recursos hídricos.

Um dos fatores relevantes para o conhecimento do uso das águas, está relacionado ao monitoramento espacial e temporal por análise de imagem satélite, principalmente pela metodologia NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), projetando-se o período de plantio até a colheita, possibilitando observar o cultivo tardio de culturas, algo preocupante relacionado ao período crítico de oferta hídrica.

Nesse contexto, o presente estudo tem por objetivo relacionar dados reais de consumo de água para a produção de semente de soja na bacia hidrográfica do rio Formoso, na época de seca, período em que há maior possibilidade de déficit hídrico pela exploração do recurso hídrico. A safra a ser analisada refere-se a do ano de 2019 em função da base de dados de captação de água disponível para estudos por meio do Instituto de Atenção às Cidades – IAC / Gestão de Alto Nível - GAN.

Dessa forma, os empreendimentos produtores tiveram coeficientes relativos de produtividade da água, que trará uma base conceitual para o uso mais eficiente dos recursos hídricos na região, assim como também, servir de base para novos estudos de otimização dos processos de irrigação.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

A agricultura de sequeiro é aquela implantada durante o período chuvoso, essa demonstra-se numa agricultura de risco em virtude de o sucesso da safra depender da distribuição das precipitações, pois estiagem em períodos críticos de desenvolvimento da cultura, pode proporcionar decréscimo no rendimento final. Outro fator negativo é a impossibilidade de implantação agrícola em regiões com pluviometria bem distinta, caso da região sudoeste do estado do Tocantins. Contudo, com a implantação da irrigação controlada aumenta-se o potencial produtivo da cultura (no caso de falta de chuvas) além de possibilitar o cultivo de espécies em época de seca.

Estudos da FAO (Food and Agriculture Organization), apontam que o Brasil está entre os quatro países com maior área potencial para irrigação, embora apenas uma pequena parte seja utilizada. O grande potencial se deve tanto à extensão territorial quanto ao conjunto de fatores físico-climáticos, favoráveis ao desenvolvimento da atividade (FAO, 2014).

Não basta ter a condição favorável para a implementação da agricultura irrigada se essa não for feita de modo a evitar o desperdício dos recursos hídricos, pois é sabido por índices históricos de pluviometria, que contemporaneamente há uma menor oferta nos corpos hídricos em contraposição há uma maior demanda por água. Nesse sentido, a eficiência do uso da água na agricultura irrigada, na região da bacia hidrográfica do rio Formoso, minimiza a possibilidade de intermitência dos rios locais.

Vale ressaltar que recorrentemente há pressão da sociedade civil por conta da retirada de água dos rios para abastecimento da agricultura irrigada regional, onde por vezes, decidiu-

se pela paralização das bombas drenantes, devido a condição crítica de vazão. Para que essa situação severa não mais ocorra, há de se ter parâmetros a serem melhorados no que tange uma maior produtividade da água.

Por fim, alcançar a segurança alimentar para a população num futuro próximo vem a ser a busca por uso dos recursos hídricos de maneira sustentável. A base técnica construída nos últimos anos, e que continuará sendo objeto de aprimoramento contínuo, é de fundamental importância para a estimativa de uso da água e para a atualização dos balanços hídricos, subsidiando a tomada de decisão e as análises de risco com vistas à segurança hídrica da agricultura irrigada e à garantia dos usos múltiplos da água.

## 1.2 OBJETIVOS

Análise da produtividade da água a partir de volumes captados e áreas irrigadas na bacia hidrográfica do rio Formoso - TO.

### 1.2.1 Objetivos Específicos

- Utilizar o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI para estimativa do comprimento do ciclo da cultura da soja para o período, dos empreendimentos da bacia hidrográfica do rio Formoso;
- Relacionar a captação de água com a área plantada a partir de um conjunto de parâmetros;
- Analisar diferentes irrigantes quanto a produtividade da água, em nível de empreendimento.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No Brasil, a irrigação para a agricultura teve início aproximadamente nos anos 1900 para a produção de arroz no Rio Grande do Sul, é o que informa o Ministério do Meio Ambiente (MMA) por meio do Atlas Irrigação - Uso da Água na Agricultura Irrigada, da Agência Nacional de Águas - ANA (2017). Conforme as necessidades foram se estabelecendo, concomitantemente houveram a intensificação da atividade em outras regiões do país, porém com maior potencial a partir das décadas de 1970 e 1980.

Em regiões afetadas por escassez em períodos específicos do ano, como na região centro-norte do País (entre maio e setembro), diversas culturas viabilizam-se apenas com a aplicação suplementar de água nesse período, embora a produção possa ser realizada normalmente na época chuvosa.

Segundo a ANA (2017), a irrigação é elemento fundamental para o aumento e a estabilidade da oferta de alimentos e consequente aumento da segurança alimentar e nutricional da população brasileira. Para essa região no período de seca, temos como exemplo da aplicação de irrigação as culturas de tomate, arroz, pimentão, cebola, batata, alho, soja, frutas e verduras.

### 2.1 DEMANDA HÍDRICA PARA IRRIGAÇÃO

A irrigação resulta em um aumento considerável da produtividade e, em muitos casos, também permite que duas ou mais culturas sejam cultivadas em um único ano. Cultivares e fertilizantes químicos aprimorados são outros fatores importantes que aumentaram a produção agrícola. Porém essas tecnologias são altamente eficazes apenas quando não há restrição à água. De 1961 a 2005/2007, a área mundial equipada para irrigação saltou de aproximadamente 145 Mha para cerca de 300 Mha, dados de Alexandratos e Bruinsma (2012) apud Stewart e Lal (2018). Estes ainda preveem que milhares de novas áreas de cultivo irrigado serão criadas até 2050, essencialmente em países em desenvolvimento.

Rockström, et al (2009) afirmam que nos ecossistemas semiáridos e sub úmidos, períodos secos em estágios críticos de crescimento da planta ocorrem em quase toda estação chuvosa. Por contraste, períodos de seca prolongados ocorrem em média uma ou duas vezes a cada década. É esperado que frequências de secas meteorológicas e secas estacionais nesses períodos aumentem com a mudança climática. Embora períodos secos possam ser superados

através de investimentos em técnicas de gestão da água, os rendimentos das culturas não podem ser sustentados durante uma seca meteorológica e, nesse caso, diferentes mecanismos são necessários.

Em se tratando da soja, o rendimento de grãos está associado à variabilidade de fatores como a ocorrência de déficits hídricos e a relação da água no solo. Altos investimentos são aplicados em lavouras de grandes culturas, retrata a importância da demanda hídrica para o desenvolvimento completo e eficiente das plantas, principalmente em períodos de estiagem ou veranicos que prejudicam o desenvolvimento das plantas em períodos críticos de maior necessidade hídrica, como da floração à maturação fisiológica de grãos que corresponde a 7,5 mm/dia (KUSS, 2006).

Para o ciclo da cultura da soja, Franke (2000) relaciona que para a obtenção de produtividade considerável, a planta irá depender de demanda hídrica entre 450 a 850 mm, levando em consideração as variações do clima durante o crescimento da cultura.

Nesse aspecto, o quanto e quando irrigar é relevante, pois tanto o estresse hídrico, como o excesso da água, causará prejuízos para as culturas, pois é fato que cada fase de desenvolvimento foliar necessita de determinada demanda hídrica. De modo geral, a necessidade do aporte hídrico é crescente de acordo com o desenvolvimento gradual das culturas, estabiliza suas necessidades ao final dos períodos de produção.

Getirana (2005) afirma que nem sempre, a competição pelos recursos hídricos é, de fato, uma situação de conflito entre usuários de água. A ocorrência de comprometimento de um determinado uso do recurso hídrico por um outro uso distinto não implica, necessariamente, conflito entre usuários. Tais situações podem caracterizar-se pelo fato de que uma forma de uso pode comprometer outra sem que haja disputa explícita entre os componentes beneficiários. Estas são definidas como conflitos potenciais e existem em grande número nas bacias hidrográficas em decorrência do uso desordenado dos recursos hídricos.

A Política Nacional de Recursos Hídricos apresenta mudanças quanto à gestão de um bem público (a água, no caso), das quais pode-se destacar a descentralização da gestão, que deixa de estar ligada exclusivamente ao poder público para uma responsabilidade mista, compartilhada entre representantes (atores) de instituições privadas na nova jurisdição política constituída pelos comitês de bacia hidrográfica (GETIRANA, 2005).

No entanto, de acordo com LABHID (2002), “a simples existência de um comitê não implica solução às situações de conflito nem assegura que haja melhor equidade na utilização de bens públicos”. Ainda na mesma referência, é destacado que, para que ocorra a anulação de situações de conflito e haja a garantia da gestão compartilhada do bem comum, torna-se

indispensável o desenvolvimento de mecanismos permanentes de participação e negociação no âmbito dos comitês entre setores usuários. Aliadas a estas estruturas institucionais, técnicas computacionais de suporte à decisão são de grande importância e devem ser aplicadas a tais problemas de forma que facilite a obtenção de soluções de consenso de todos os envolvidos.

Em avaliação abrangente da gestão dos recursos hídricos em agricultura, destaca-se a necessidade urgente de novas propostas de gestão da água assim como investimentos na agricultura para atender às demandas futuras de alimentos, à luz da crescente pressão sobre os recursos hídricos e as incertezas devido às alterações climáticas (SEMADES, 2019).

## 2.2 EFICIÊNCIA DO USO DA ÁGUA

A agricultura irrigada é o maior setor consumidor de água e enfrenta a concorrência de outros setores, como os setores industrial e doméstico. Como exemplo, na África Subsaariana, 35 % do PIB provêm do setor da agricultura, que também emprega cerca de 70 % da população. Com o crescimento populacional mundial em alta e menor disponibilidade de água para a produção agrícola, a segurança alimentar para as gerações futuras está sob risco. O setor agrícola enfrenta o desafio de produzir mais alimentos com menos água, aumentando a eficiência do uso da água (KIJNE et al., apud SANDER e WIM, 2004; ROCKSTRÖM; et al, 2009).

No Brasil, segundo Coelho e Silva (2013), a eficiência média da irrigação é de aproximadamente 59 %. Isso significa que, para uma irrigação de 4 mm dia<sup>-1</sup> (40.000 L hectare<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>) são necessários 67.800 litros de água. A elevação dessa eficiência em apenas 1 % significaria uma economia de 1.130 L hectare<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>. Para uma área irrigada de apenas 1000 ha, este incremento na eficiência representa uma economia de 1.130.000 litros de água. Considerando que o ser humano utiliza uma faixa de 140 L dia<sup>-1</sup> a 200 L dia<sup>-1</sup> de água, esta economia seria suficiente para suprir a necessidade de 6.650 pessoas.

Cunha et al (2014) em seus estudos presumiram que a quantidade de água necessária para produzir alimentos até 2050, varie de 8500 km<sup>3</sup> a 11.000 km<sup>3</sup> por ano, dependendo das pressupostas melhorias relativas nos sistemas agrícolas de sequeiro e irrigados. Os mesmos enfatizam que a expressão Eficiência de Uso da Água (EUA), apesar de ser bastante conhecida na área agrônômica, como representação da razão de um atributo de produção (biomassa total, grãos, óleo, proteína, calorias, etc.) pelo uso de certa quantidade de insumo ou de recurso

disponível no ambiente, não raro, é causa de confusão com a interpretação que é dada à palavra “eficiência” na área de gestão/administração e nas engenharias.

Em irrigação, comumente, o termo eficiência é usado para expressar a razão entre a quantidade de água que é captada e a que é distribuída nos diferentes pontos do sistema empregado, ou, em termos práticos, como a razão entre a água captada e a liberada no perfil do solo que é explorado pelas raízes das plantas, uma vez que não podem ser desconsideradas as perdas por escoamento superficial, percolação profunda e evaporação, sendo representada por números entre 0 e 1 ou, percentualmente, entre 0 % e 100 % (COELHO & SILVA, 2013).

Agronomicamente, no caso de cultivos de lavoura, cujo atributo de interesse econômico principal é a produção de grãos, o termo EUA refere-se à quantidade de grãos produzida por unidade de área cultivada e por unidade de água usada, como exemplo temos: kg de grãos ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>.

Sander e Wim (2004) propuseram várias estratégias para aprimoramento do uso eficiente da água, sendo uma delas a integração da melhoria varietal e melhor gerenciamento de recursos no nível da planta, no campo e nível agroclimático. Outros exemplos de opções e práticas que podem ser adotadas são: aumentar a colheita, melhorando a tolerância à seca e a salinidade (nível da planta), aplicando irrigação por déficit, ajustando as datas de plantio e plantio direto para reduzir a evaporação e aumentar a infiltração (nível de campo), reúso de água e análise espacial para máxima produção e mínimo evapotranspiração real total sazonal das culturas (nível agroecológico), para citar alguns.

O objetivo da produção de grãos, principalmente quando o recurso hídrico é limitado, é produzir um kg de grão com a menor quantidade de água possível. Isso depende das espécies das culturas, fatores climáticos, geometrias e muitos outros fatores que geralmente são altamente variáveis e não são passíveis de gerenciamento. Existem, no entanto, alguns relacionamentos bem estabelecidos e que se aplicam universalmente (STEWART e LAL, 2018).

No que apontaram anteriormente Stewart e Lal, a pesquisa e a tecnologia são fatores-chave para se obter eficiência hídrica. Pesquisas por espécies que tenham mais resistência à seca, pesquisas que envolvam a modelagem e simulação da relação água-planta são exemplos importantes nesta área, ressalta Soldera (2020).

A implementação de técnicas de irrigação mais sustentáveis ou que contribuam para a redução de água neste setor também é necessária, como a técnica chamada “técnica de irrigação deficitária” pesquisada pela Embrapa, por exemplo. Nessa técnica a demanda hídrica da planta não é plenamente atendida, somente o mínimo. O sucesso dessa técnica está no manejo

adequado do potencial de água no solo e isto é alcançado com ajuda de sensores, medição do fluxo de seiva das plantas, assim como constante monitoramento climático. Outras alternativas são a utilização de irrigação por micro aspersão e gotejamento (SANTOS & UMMUS, 2015).

O reflorestamento e a conservação das matas ciliares são também necessários, pois auxiliam em muito na disponibilidade hídrica. Adicionalmente, é preciso capacitar os produtores, pois o conhecimento diário do cultivo associado a boas técnicas de plantio e manejo podem resultar em inovações para o setor e contribuir para a economia de água no campo (SOLDERA, 2020).

### **2.2.1 Métodos de irrigação**

Método de irrigação é a forma pela qual a água pode ser aplicada às culturas. Basicamente, são quatro os métodos de irrigação, sendo esses: superfície, aspersão, localizada e subirrigação, é o que afirmam Andrade e Brito (2006); Frizzone (2017). Para cada método, há dois ou mais sistemas de irrigação que podem ser empregados. A razão pela qual há muitos tipos de sistemas de irrigação é a grande variação de solo, clima, culturas, disponibilidade de energia e condições socioeconômicas para as quais o sistema de irrigação deve ser adaptado.

#### **2.2.1.1 Irrigação por superfície**

Os sistemas de irrigação por superfície, ou irrigação por gravidade, têm como principal característica distribuir a água na área irrigada utilizando a superfície do solo para o escoamento gravitacional, permitindo um escoamento contínuo, sem causar erosão. Essa condição pode ser conseguida por sistematização do terreno ou por simples uniformização da superfície. Esses sistemas, em geral, são os de menor custo por unidade de área (FRIZZONE, 2017).

Santos e Ummus (2015) citam que as principais vantagens desse método são: menor custo fixo e operacional; requer equipamentos simples; não sofre efeito de vento; menor consumo de energia quando comparado com aspersão; não interfere nos tratos culturais; permite a utilização de água com sólidos em suspensão.

As principais limitações são, principalmente: a dependência de condições topográficas, requer sistematização do terreno; o dimensionamento envolve ensaios de campo, o manejo das irrigações é mais complexo, requer frequentes reavaliações de campo para assegurar bom desempenho, se mal planejado e mal manejado, pode apresentar baixa eficiência de distribuição

de água, assim como, desperta pequeno interesse comercial, em função de utilizar poucos equipamentos (ANDRADE e BRITO, 2006).

#### 2.2.1.2 Irrigação por aspersão

No método por aspersão, jatos de água lançados ao ar caem sobre a cultura na forma de chuva. Se desenvolveu logo após a segunda guerra mundial, com a produção de tubos de alumínio leve e sistemas de acoplamentos rápidos, facilitando o transporte manual, a operação e o manejo dos equipamentos no campo (SANTOS e UMMUS, 2015).

Os primeiros sistemas de aspersão introduzidos no mercado foram os portáteis, cujas tubulações eram deslocadas manualmente na área irrigada com aspersores rotativos de impacto. Posteriormente, surgiram os sistemas com linhas laterais rolantes. Com o objetivo de economizar mão-de-obra e aumentar a eficiência de irrigação surgiram os sistemas fixos. Estes eram utilizados em culturas de alto valor econômico. Quando instalados em pomares de citros, geralmente consistiam de laterais de plástico, instaladas entre fileiras de árvores, usando-se aspersores pequenos e de baixa vazão. Mais tarde foram desenvolvidos aspersores gigantes, montados sobre bases móveis, utilizados para facilitar a cobertura de grandes áreas, em particular aquelas que deveriam receber irrigação complementar. Outros equipamentos móveis, requerendo pouca de mão-de-obra, foram desenvolvidos nas décadas de 60 e 70 e, ao mesmo tempo, vários níveis de automação foram introduzidos nos sistemas (FRIZZONE, 2017).

As principais vantagens desse sistema são a facilidade de adaptação às diversas condições de solo e topografia; apresenta potencialmente maior eficiência de distribuição de água, quando comparado com o método de superfície; pode ser totalmente automatizado; pode ser transportado para outras áreas.

As desvantagens, segundo Andrade e Brito (2006), ficam por conta dos custos de instalação e operação, este método pode sofrer influência das condições climáticas, como vento e umidade relativa. Outro fator é quando se faz a irrigação com água salina, ou sujeita a precipitação de sedimentos, esta pode reduzir a vida útil do equipamento e causar danos a algumas culturas. Há de se levar em conta a possibilidade de favorecer o aparecimento de doenças em algumas culturas e interferir com tratamentos fitossanitários, por considerar a disseminação de doenças tendo como veículo a água.

#### 2.2.1.3 Irrigação localizada

Andrade e Brito (2006) especificam que no método da irrigação localizada também denominada microirrigação, a água é, em geral, aplicada em apenas uma fração do sistema

radicular das plantas, empregando-se emissores pontuais (gotejadores), lineares (tubo poroso ou “tripa”) ou superficiais (micro aspersores). A proporção da área molhada varia de 20 % a 80 % da área total, o que pode resultar em economia de recurso hídrico. O teor de umidade do solo pode ser mantido alto, através de irrigações frequentes e em pequenas quantidades, beneficiando culturas que respondem a essa condição. O custo inicial é relativamente alto, tanto mais alto quanto menor for o espaçamento entre linhas laterais. É um método que permite automação total, o que requer menor emprego de mão-de-obra na operação. Os principais sistemas de irrigação localizada são o gotejamento, a micro aspersão e o gotejamento subsuperficial.

A área de solo molhado exposta à atmosfera fica, assim, bastante reduzida, o que reduz a perda de água por evaporação direta do solo (LAMM; CAMP, 2007 *apud* FRIZONE, 2017). A principal diferença entre os sistemas de microirrigação e os outros sistemas de irrigação, é que nos primeiros o balanço entre evapotranspiração e água aplicada é mantido num período compreendido entre 24 e 72 horas. As baixas vazões aplicadas pelos sistemas de microirrigação, operando em alta frequência, requer atenção particular na estimativa da necessidade de água das culturas ou na medida do potencial de água na zona radicular.

Como desvantagens desse sistema, Santos e Ummus (2015) citam o alto custo inicial, devido à grande quantidade de tubulações, assim como o fato de ser bastante sensível ao entupimento dos orifícios de saída de água. Também é atrelado a esse método, a diminuição da profundidade das raízes, devido à constante disponibilidade de água, podendo diminuir a estabilidade da planta.

#### 2.2.1.4 Irrigação por subirrigação

A irrigação subterrânea, também chamada de subirrigação e drenagem controlada, é um método que consiste na aplicação de água diretamente na subsuperfície do solo, geralmente pela formação, manutenção e controle de um lençol de água artificial ou pelo controle de um lençol natural, mantendo-o a uma profundidade conveniente. Por ascensão capilar, o lençol d’água, usualmente mantido a uma profundidade de 0,30 a 0,80 m, propicia a umidade necessária às raízes das plantas. Geralmente a água é introduzida no solo por canais (ou drenos) abertos. A profundidade do nível da água é controlada por meio de comportas e/ou bombas (ROBBINS; VINCHESI, 2011 *apud* FRIZONE, 2017).

Andrade e Brito (2006) corroboram apontando que no sistema por subirrigação, o lençol freático é mantido a uma certa profundidade, capaz de permitir um fluxo de água adequado à

zona radicular da cultura. Geralmente, está associado a um sistema de drenagem subsuperficial. Havendo condições satisfatórias, pode-se constituir no método de menor custo. No Brasil, esse sistema de irrigação tem sido empregado com relativo sucesso na bacia hidrográfica do rio Formoso, estado do Tocantins.

Os autores citam ainda, que as principais vantagens decorrentes da adoção da subirrigação são a capacidade de irrigar solos apresentando elevada taxa de infiltração, capacidade de irrigar solos apresentando reduzida capacidade de retenção de água e inexpressiva exigência de mão-de-obra.

Como desvantagens do sistema subirrigado, destacam-se exigências específicas de condições naturais, nem sempre disponíveis, principalmente a presença do lençol freático a uma pequena profundidade do solo, condicionado obviamente a uma topografia favorável. Em alguns casos, torna-se inadequado para algumas culturas, assim como deve-se ater a observância da ocorrência de solos e água sem riscos de salinização (SANTOS e UMMUS, 2015).

### 2.3 SOJA PRODUZIDA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO FORMOSO

A soja (*Glycine max*) ilustrada na Figura 5, é uma das culturas agrícolas com maior valor socioeconômico intrínseco. A cadeia produtiva com o complexo agroindustrial que a envolve é responsável pela geração de uma economia crescente, impulsionando um potencial de mercado direcionado à produção de alimentos e recentemente ao mercado de combustíveis de origem vegetal, denominados de biocombustíveis (MAPA, 2015).

Figura 1 - Soja semente.



Fonte: ABRASS (2019).

Stewart e Lal (2018) relatam que a produção de grãos de cereais é fundamental para a segurança alimentar. Explicam que cereais são gramíneas cultivadas para retirada de suas sementes comestíveis e incluem trigo (*Triticum aestivum*), arroz (*Oryza sativa*), milho (*Zea mays*), cevada (*Hordeum vulgare*), sorgo de grão (*Sorghum bicolor*), centeio (*Secale cereale*), triticale (*Triticosecale*), milheto (*Pennisetum americanum*), milho proso (*Panicum miliaceum*), quinoa (*Chenopodium quinoa*) e soja (*Glycine max*). Das mais de 50.000 espécies de plantas comestíveis do mundo, apenas 15 plantas fornecem 90 % da ingestão de energia alimentar em todo o mundo (FAO, 2000; HULSE, 1995 apud STEWART e LAL, 2018).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de soja, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2019), a safra 2018/2019 teve um aumento de 1,8 % em área plantada em relação à safra 2017/18, totalizando 35,822 milhões de hectares, a produção 18/19 foi de 114,843 milhões de toneladas de grãos, com produtividade de 3.206 kg ha<sup>-1</sup>.

Baseado nos dados da CONAB, a cadeia produtiva da soja é diretamente responsável pelos índices positivos da balança comercial brasileira, sendo a cultura agrícola brasileira que mais cresceu nas últimas três décadas, acompanhada pelo avanço tecnológico da sua produção.

No Tocantins, devido ao clima, luminosidade, solos e logística favorável, a soja tem sido a cultura com o maior crescimento nos últimos anos. De acordo com dados da safra em abril de 2019, teve-se uma produtividade de 2.956 kg ha<sup>-1</sup>, sendo essa um pouco inferior à safra 17/18 com produtividade de 3.135 kg ha<sup>-1</sup>. No estado do Tocantins, a área cultivada na safra 2018/19 chegou a 1.026.600 de hectares, com produção de 3.034.600 toneladas de grãos de soja (CONAB, 2019).

A Associação Brasileira dos Produtores de Sementes de Soja – ABRASS – fundada em 2012, com o objetivo de congregar em uma entidade de classe os produtores (multiplicadores) de semente de soja, cita que:

“O aumento de produtividade agrícola tem sido possível com o desenvolvimento de plantas mais produtivas, menos susceptíveis a pragas e resistentes a determinadas condições climáticas e agroquímicos, o que é alcançado por meio do melhoramento de plantas e outras tecnologias, como a transgenia.

Diante deste contexto, a semente de soja, mais do que um sistema biológico responsável pela reprodução e dispersão das espécies, tornou-se um importante mecanismo de difusão da inovação tecnológica, uma vez que leva ao campo todos os avanços obtidos nos últimos anos por meio do melhoramento e da manipulação genética.

São produzidos anualmente mais de 1,5 milhão de toneladas de sementes de soja, cultivados em aproximadamente 1 milhão de hectares em todo o país. O mercado brasileiro de sementes de soja movimenta, anualmente aproximadamente US\$ 1,3 bilhão, ou seja, mais de 35 % de toda a movimentação financeira do mercado nacional de sementes (ABRASS, 2019).”

A indústria brasileira transforma por ano, cerca de 30,7 milhões de toneladas de soja em óleo comestível (5,8 milhões de toneladas) e farelo proteico (23,5 milhões de toneladas), ambos possuem elevado padrão de qualidade tendo alto teor de proteína o que permite sua entrada em mercados extremamente exigentes como os da União Europeia e do Japão (MAPA, 2014; SILVA et al., 2015).

De posse dos dados da safra brasileira de 2018/19 fornecidos pela CONAB, atualizado em junho de 2019, temos o seguinte panorama: A soja no mundo tem uma produção de 362,075 milhões de toneladas, com área plantada de 125,691 milhões de hectares. Nos EUA a produção chegou a 123,664 milhões de toneladas, tendo uma área plantada de 35,657 milhões de hectares, perfazendo uma produtividade  $3.468 \text{ kg ha}^{-1}$ . O Brasil perdeu em produção para os EUA em apenas 8,821 milhões de toneladas nessa última safra, possuindo uma produtividade um pouco menor,  $3.206 \text{ kg ha}^{-1}$  (EMBRAPA, 2019).

Segundo o levantamento de 2018 da Agrosat (2018), o consumo interno nacional de soja em grão é de 44 milhões de toneladas e para exportação de soja em grão são 83,6 milhões de toneladas - U\$ 33,2 bilhões, exportação de farelo 16,9 milhões de toneladas - U\$ 6,7 bilhões, exportação de óleo 1,4 milhões de toneladas - U\$ 1,0 bilhão, totalizando U\$ 40,9 bilhões em exportações.

Na bacia hidrográfica do rio Formoso cultiva-se a soja para semente, cercada pelo conflito da utilização dos recursos hídricos naturalmente disponíveis para essa produção agrícola, que durante esse período de déficit pluviométrico, acaba por reduzir consideravelmente os volumes dos reservatórios e as vazões dos rios dessa bacia hidrográfica, muitas vezes, deixando-os em condições mínimas para atender a demanda hídrica da cultura da soja semente dentro dos empreendimentos produtores.

Almeida et al., (2011) cita que a cultura da soja é afetada diretamente por fatores bióticos e abióticos e que as perdas causadas por estresses abióticos, como a seca, causam em média mais de 50 % das perdas mundiais, enquanto os prejuízos causados por estresses bióticos reduzem em média de 10 % a 20 % da produtividade da cultura.

Com o avanço de tecnologias o produtor junto a órgãos de orientação bem como cooperativas (EMATER e EMBRAPA), empresas particulares e demais órgãos, evidenciam expectativas de precipitação para o cultivo da soja com antecedência, fazem uso de manejos eficazes durante os períodos chuvosos ou com menores índices pluviométricos, com isso cultivares com ciclos diferentes são utilizadas para escape destes períodos, ciclos como: precoces, semiprecoces, médias, semitardias e tardias (EMBRAPA, 2019). Fator a ser

considerado é a época de semeadura, que deve ser realizada em condições ideais para o alcance de altos rendimentos de grãos.

No Estado do Tocantins, segundo Almeida et al. (2011), a soja é a terceira cultura em termos de participação no valor bruto de produção. É cultivada em condições de várzea irrigada no período de entressafra entre os meses de maio a junho e sob regime de subirrigação (elevação do lençol freático) no período de safra que compreende o período de novembro a dezembro. No período de entressafra, a baixa temperatura noturna, a ausência de chuvas, aliada à baixa umidade relativa do ar, tem possibilitado a obtenção de sementes de excelente qualidade. Tornando-se, nesse período, condições altamente atrativas e compensativas para os produtores, assim como empresas de pesquisas, em virtude do preço da soja comercializada na forma de sementes.

A produção de sementes de soja no Tocantins ocorre principalmente nas regiões de várzeas tropicais, nos municípios de Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia, Dueré e Pium. Durante o período de estiagem, a partir do mês de abril, são feitos os plantios nas várzeas em substituição ao arroz, e então essas plantas se desenvolvem por sub irrigação. A produção de sementes de soja no Tocantins supera o consumo por parte dos produtores. Na safra 13/14, foram produzidas 152 mil toneladas, enquanto a demanda por sementes de soja foi de 48 mil toneladas, todo o excedente é vendido para outros estados brasileiros (CONAB, 2019).

Esta viabilidade para a soja semente demonstram crescimentos de produção safra após safra na ordem atual de 800 mil hectares no estado, segundo dados da SFA (Superintendência Federal de Agricultura do Tocantins). Para as regiões Norte, Nordeste e parte do Centro-Oeste, a região da bacia hidrográfica do rio Formoso é tida como referência na produção de sementes, principalmente para pesquisas, com participação de várias instituições. Toda a semente produzida no Brasil tem um direcionamento para ser multiplicada na região.

O planejamento para o plantio da soja, realizado dentro da bacia hidrográfica do rio Formoso, ocorre em conjunto com as empresas brasileiras e estrangeiras com foco na produção de sementes. As sementes desenvolvidas são destinadas a safras de anos seguintes a serem plantadas em zonas de produção de todo o Centro-Oeste e alguns estados do Norte e do Nordeste, para a produção agrícola da soja grão para consumo interno e para comércio *Commoditie* exportação (FILHO, et al. 2013).

Ainda conforme os autores acima, o calendário de produção de soja na bacia hidrográfica do rio Formoso (Quadro 1) ocorre no momento em que em todo o Brasil é obedecido o período do vazio sanitário, ou seja, o período de ausência total de plantas vivas da

cultura da soja. Por legislação federal todas as plantas de soja existentes nas propriedades produtoras devem ser erradicadas, por meio de produtos químicos ou equipamentos.

Quanto ao período de vazio sanitário, a Agência de Defesa Agropecuária do Estado do Tocantins – ADAPEC, anualmente lança Instruções Normativas, considerando o Programa Nacional de Controle da Ferrugem Asiática da soja, determinado pela Instrução Normativa Federal nº 2, de 29 de janeiro de 2007, onde especifica o calendário com medidas e ações de profilaxia e controle da praga, que geralmente ocorre entre 1º de julho à 30 de setembro.

Porém no caso do cultivo da soja para a produção de semente, sob sistema de subirrigação, há a exceção para essa região, desde que, cumprido a descontinuidade do cultivar da soja nos demais períodos do ano.

Ao se tratar da semeadura na condição de excepcionalidade ao vazio sanitário, em planície tropical, sob sistema de subirrigação, a ADAPEC determina a janela de plantio, iniciando-se em 20 de abril e finalizando em 31 de maio de cada ano como data limite.

O Quadro 1 apresenta a grade de desenvolvimento da cultura da soja em seus estádios fisiológicos, dentro do período do calendário de plantio da bacia hidrográfica do rio Formoso.

Quadro 1 - Calendário da cultura de soja na bacia hidrográfica do rio Formoso.

Estações	Chuva						Seca					
Cultura/Mês	OUT	NOV	DEZ	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET
Soja Grupo I							Plt	Ds/Fl	Ds/Fl	Ds/Fl	Mt/Cl	
Soja Grupo II								Plt	Ds/Fl	Ds/Fl	Ds/Fl	Mt/Cl
Legenda	Plt	Plantio			Ds/Fl	Desenvolvimento/Floração			Mt/Cl	Maturação/Colheita		

Fonte: Adaptado de MAPA (2020).

A classificação de grãos apontada no quadro acima, foi instituída pela Lei nº 9.972, de 25 de maio de 2000 e regulamentada pelo Decreto nº 3.664, de 17 de novembro de 2000. Essa classificação física dos grãos de soja, que indica a qualidade, é descrita na Instrução Normativa nº 11, de 16 de maio de 2007 separando os grãos de soja em grupos, dependendo do uso proposto em classes em função da coloração e em tipos em função dos percentuais de tolerância de defeitos dos grãos.

Segundo a SENAR (2017), com base na Instrução Normativa supracitada, a soja é tipificada em dois grupos, sendo o Grupo I - soja destinada ao consumo *in natura*. São aqueles que estão no estado natural, sem ter sofrido qualquer transformação ou processamento a granel ou embalados, e estejam em condições de serem oferecidos ao consumidor. É o caso específico da soja semente produzida na bacia hidrográfica do rio Formoso, pois apresenta elevado padrão de qualidade para a reprodução da cultura.

Por ser de menor qualidade, a soja do Grupo II é destinada a outros usos, como processo de esmagamento para produção de óleo e farelo ou alimentação animal.

### **2.3.1 Captação de água para irrigação da soja**

Na região da bacia hidrográfica do rio Formoso, a agricultura por subirrigação teve desenvolvimento por iniciativa do Projeto Rio Formoso, nos anos 1979/80 pela equipe do então governador Ary Valadão para exploração racional de uma área de 65.000 hectares (ha) inserida em vasta planície que se estende ao longo da margem leste do médio rio Araguaia, e conseqüentemente banhada por afluentes deste (GOIÁS, 1980).

A Secretária de Recursos Hídricos e Meio Ambiente do Estado do Tocantins - SRHMA/TO (2007), cita que a principal atividade econômica na bacia hidrográfica do rio Formoso relacionada ao uso da água é a irrigação, com destaque para o método por inundação para cultivo de arroz irrigado, no período chuvoso, e subirrigação no período de seca (entressafra).

Arruda e Valdevino (2014), corroboram descrevendo que desde o início do planejamento para a implantação do Projeto, sempre foi considerado a cultura do arroz irrigado, principalmente no período chuvoso (novembro a março), como a principal atividade a ser desenvolvida, disponibilizando estudos para implementação de plantio de cultura tropical menos exigente no uso da água em seu desenvolvimento, durante o período de seca.

Entre as culturas de maior relevância econômica da região, estão o arroz e a soja semente, esta última recebe água para subirrigação por meio dos canais abastecidos por bombas estacionárias que retiram o recurso hídrico dos rios da bacia hidrográfica do rio Formoso.

É importante salientar que todos os canais de drenagem (principal, secundário, terciário e complementar) apresentam dimensões variadas ao longo dos trechos da região, acompanhando a declividade natural do terreno. No entanto, quanto ao dimensionamento dos canais, Nascimento (1980) explica que os canais secundários ao longo de seu perfil de caminhamento, possui profundidade aproximada de 2,20m e largura de 47m.

Figura 2 – Exemplo de canal de irrigação Primário.



Fonte: Silva (2015).

As estações de bombeamento inicialmente eram compostas por motobombas movidas a óleo diesel, com o passar dos tempos, foram modernizadas para motobombas movidas por motores elétricos. Silva (2015) ressalta que ao longo dos mais de 30 anos de existência do sistema de subirrigação na região, nenhuma ação de monitoramento e manutenção dos canais havia sido realizada.

## 2.4 MONITORAMENTO DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA

O Sensoriamento Remoto tem sido apontado como possível técnica alternativa à atual metodologia para elaboração de mapas de produção agrícola. A cultura pode ser monitorada e estimada a partir de sua relação com o vigor da cultura, que por sua vez, pode ser determinado via sensoriamento remoto, pela sua relação com determinados índices de vegetação gerados a partir de imagens multiespectrais.

### 2.4.1 Determinação dos índices de vegetação

Os índices de vegetação são importantes ferramentas métricas de sensoriamento remoto, existindo vários tipos, porém o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) se destaca por ter um longo histórico de aplicação em trabalhos relacionados à agricultura de precisão (KE et al., 2015).

Proposto por Rouse et al. (1973), o NDVI é um índice utilizado principalmente em pesquisas de cunho ambiental, pois permite fazer análises sobre a cobertura vegetal de

determinada região em diversas escalas. A classificação de imagens multiespectrais consiste em associar cada *pixel* da imagem a um “rótulo” descrevendo um objeto real. Portanto, os valores numéricos definidos pelo *pixel* da imagem, que, por sua vez é associado à informação espectral dos alvos captados pelo sensor, são identificados e associados a temas distintos, configurando assim regiões homogêneas.

Os resultados da classificação digital de imagens de satélites podem variar de acordo com a data de aquisição dos dados, resolução espacial, espectral e radiométrica do sensor. Outro fator que influencia o resultado da classificação é a ocorrência de sombras, tanto de nuvens, como do relevo em relação à angulação solar (azimute) na hora da tomada da imagem. A ocorrência de sombras também é influenciada pelo ângulo de elevação solar do período em que a imagem foi captada pelo sensor (NAMIKAWA, 2015).

Ainda conforme Namikawa (2015), os índices de vegetação de maneira geral realçam o comportamento espectral da vegetação presente na imagem correlacionando-se com os aspectos biofísicos como biomassa, Índice de Área Foliar, vigor da vegetação, cobertura do solo, atividade fotossintética, dentre outros aspectos. Esses índices normalmente são utilizados para caracterizar a presença de vegetação fotossinteticamente ativa na superfície bem como sua distribuição espaço-temporal a qual é inerente às condições climáticas e aos ciclos fenológicos anuais.

Para alcançar o NDVI pode-se utilizar de imagens capturadas do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do Satélite Landsat 8, esse fornece observações contínuas da Terra com um intervalo de 8 dias (SILVA, 2015).

Estudos de Ke et al (2015) apontaram que o Landsat 8 - OLI / NDVI tem melhor capacidade de monitoramento de processos de superfície terrestre, tais como mapeamento da cobertura do solo, dinâmica espaço-temporal do crescimento da vegetação e avaliação da seca, comparado à similares e aos seus antecessores.

Alvarenga e Moraes (2014) salientam que a modelagem dos índices de vegetação é obtida por meio de processamento de informações contidas nas bandas que apresentam refletância na região do visível (vermelho) e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. Na faixa espectral do vermelho, há alta absorção de energia solar devido à presença da clorofila e isso ocasiona baixa refletância. Por sua vez, na faixa do infravermelho próximo, essa absorção é baixa e resulta em alta refletância. Portanto, a combinação dessas duas faixas espectrais realça as áreas de vegetação nas imagens e, quanto maior o contraste maior é o vigor da vegetação na área imageada, escalonando-a de medida linear entre -1 e 1.

Em conformidade com Alvarenga (2014), Ke et al (2015), descreve que para a determinação do NDVI, se faz necessário a entrada da imagem nas bandas do vermelho, do infravermelho próximo e o nome do arquivo de saída, ou do resultado da operação. Corroboram afirmando que a escala da imagem NDVI apresenta uma legenda com valores dentro da faixa de (-1 a 1).

$$NDVI = \frac{(IVP-V)}{(IVP+V)} \quad \text{(Equação 1):}$$

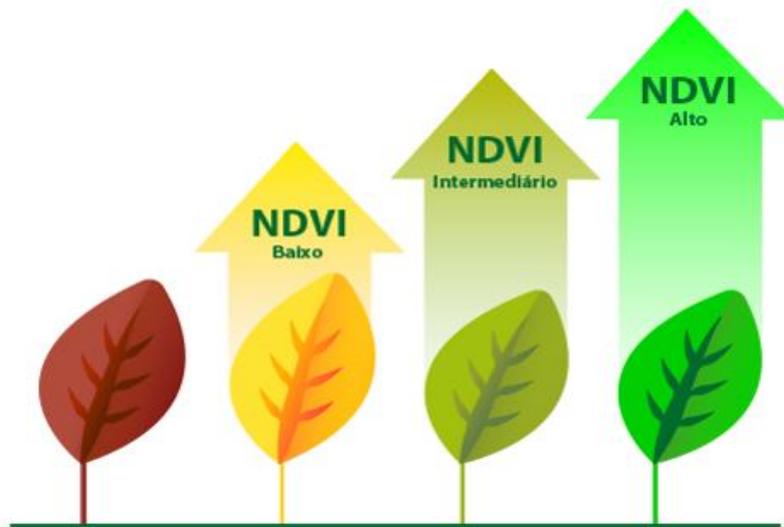
*Em que:*

*IVP = refletância medida na faixa espectral do infravermelho próximo;*

*V = refletância medida na faixa espectral do vermelho.*

Os valores negativos não correspondem à vegetação, então para uso de análise de vegetação considera-se apenas a faixa compreendida entre (0 a 1), em que valores próximos a 1 correspondem a um alto vigor vegetativo (ALVARENGA e MORAES, 2014).

Figura 3 - Ilustração da relação da coloração das folhas com o índice NDVI.



Fonte: Falcker (2020).

Ainda segundo Alvarenga e Moraes (2014), um método eficiente de comparação entre mapas no formato *raster* é fazer uma sobreposição e uma avaliação pixel-a-pixel, de modo a identificar as áreas de concordância entre os mapas, dois a dois. Para expressar o grau de concordância entre os mapas classificados em um único valor aplicando-se o índice Kappa.

O índice Kappa ou coeficiente Kappa de Cohen é uma estatística usada para medir a confiabilidade para itens qualitativos. Considera-se geralmente uma medida mais robusta do que o simples cálculo percentual de concordância, pois  $\kappa$  leva em consideração a possibilidade de a concordância ocorrer por acaso. Esse assume um valor máximo igual a 1 (um), no qual os

valores mais elevados representam maior correspondência entre as classes dos dois mapas considerados.

A Tabela 1 apresenta o grau de concordância entre imagens, em função do valor do índice Kappa.

Tabela 1 - Classificação qualitativa do índice Kappa

Índice Kappa	Grau de concordância
<i>&lt; 0,00</i>	Péssimo
<i>0,00 – 0,20</i>	Ruim
<i>0,21 – 0,40</i>	Razoável
<i>0,41 – 0,60</i>	Bom
<i>0,61 – 0,80</i>	Muito Bom
<i>0,81 – 1,00</i>	Excelente

Fonte: Adaptado de Ke et al (2015)

Alvarenga e Moraes (2014) citam que o NDVI é um indicador da proporção e da condição da vegetação verde. Geralmente para superfícies com presença de alguma vegetação o valor do NDVI é positivo, para superfícies sem vegetação o valor é nulo, já para a água e nuvens o valor geralmente é negativo. Quanto mais próximo do extremo positivo, maior a densidade da cobertura vegetal, ou seja, condiz com seu estágio denso e desenvolvido. Esse valor diminui gradativamente para cobertura vegetal menos densa, que apresenta valores positivos, porém não muito elevados.

Mengue e Fontana (2015) aplicaram a análise NDVI no estado do Rio Grande do Sul para uma avaliação da dinâmica espectro-temporal visando o mapeamento dos principais cultivos de verão no Rio Grande do Sul. Seus estudos abrangeram 497 municípios no período de agosto de 2011 a maio de 2012, compreendendo assim, o período de desenvolvimento da cultura do arroz irrigado e da soja no estado.

Em estudos iniciados em 2001 por Araújo, Vettorazzi e Molin (2005) estimaram a produtividade e determinaram zonas de manejo em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multiespectral. Conseguiram demonstrar a potencialidade da análise NDVI por meio de mapas de produtividade, referentes as duas áreas cultivadas estudadas, primeiramente com trigo, no inverno de 2001 e na sequência com soja, no verão de 2002. As imagens foram corrigidas geometricamente, assim como, aplicaram regressão linear simples entre as imagens e os mapas de produtividade, pixel-a-pixel, com resultados diversos para as duas áreas de estudo. O mesmo ocorreu quando foi analisado o grau de concordância pelo índice Kappa, entre produtividade e dados de imagem.

### 3 METODOLOGIA

A metodologia aplicada para esta dissertação foi de abordagem qualitativa e quantitativa, quanto à natureza, apresenta-se como de pesquisa aplicada. Para compreensão facilitada, apresenta-se sequencialmente em subtópicos, a descrição da área de estudo, envolvendo dados locais do solo, vegetação, clima e características hidrológicas. Em continuidade é apresentado a localização dos empreendimentos estudados, o método para a estimativa do período de cultivo e de irrigação e as metodologias para a obtenção de quatro coeficientes: Volume de água captada por produção de soja; Volume de água captada por área irrigada; Densidade de canais por área irrigada; e Volume de água captada por densidade de canais.

Como a bacia hidrográfica do rio Formoso apresenta grandes dimensões territoriais, assim como também pelo fato de não haver monitoramento em todos os empreendimentos, este estudo foi direcionado às propriedades produtoras de soja que possuem histórico de captação de água pelo sistema GAN/IAC-UFT no período de maio a setembro de 2019.

Cabe destacar que toda a análise dos coeficientes propostos, foi baseada nos volumes de captação d'água nos rios da bacia do rio Formoso, não contabilizando outras fontes de recursos hídricos.

#### 3.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

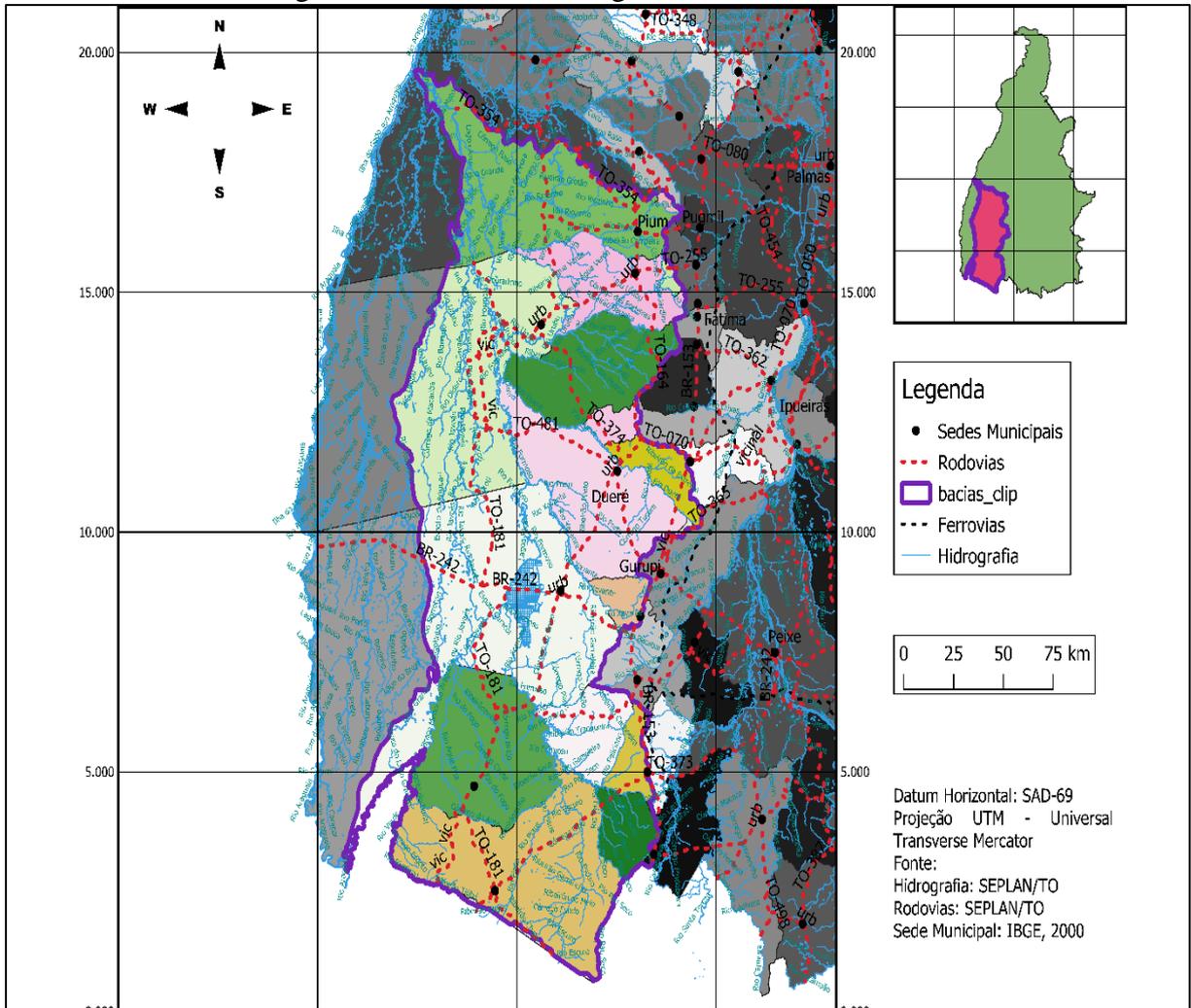
A bacia hidrográfica do rio Formoso encontra-se margeada à leste do rio Araguaia, que tem suas nascentes no entorno da Serra dos Caiapós, encaminhando-se para o norte até confluir com o rio Tocantins.

A bacia hidrográfica supramencionada tem como principal contribuinte o rio Formoso, esse é pertencente à região hidrográfica do Araguaia-Tocantins, conforme divisão hidrográfica da ANA (Agência Nacional das Águas), apresentando uma área de drenagem de 21.328 km<sup>2</sup>, cerca de 7,7 % da área total do Estado do Tocantins e 5,6 % da bacia hidrográfica do rio Araguaia.

Situa-se na região sudoeste tocaninense, estando compreendida pelos paralelos 10°28' e 13°16' de latitude sul e os meridianos 48°50' e 49°57' de longitude oeste, adotando-se uma divisão em 8 sub-bacias hidrográficas principais (Figura 4), sendo elas: Escuro, Pau Seco,

Taboca, Xavante, Dueré, Lago Verde, Urubu e áreas marginais ao rio Formoso (SRHMA, 2007).

Figura 4 - Sub-bacias hidrográficas do rio Formoso.



Fonte: Autor - Software: QGIS 3.14.16 (2021).

Essa grande porção de terras têm a forma de uma grande planície tropical, sazonalmente inundada por precipitação e saturação do lençol freático. A várzea tropical da Planície da Ilha do Bananal caracteriza-se por ser uma área plana, de baixa altitude, variando de 160 a 400 m acima do nível do mar, que abrange parte dos Estados de Goiás, Tocantins e Mato Grosso (IBGE, 2014).

Às margens do rio Formoso, por seu relevo favorável, estabeleceu-se intensa produção agrícola principalmente nos municípios de Formoso do Araguaia e Lagoa da Confusão. O projeto de arroz irrigado, do tipo inundação nessa região, está entre os maiores do mundo em área contínua, com a utilização também, do sistema de inundação para produção de soja no período seco (SRHMA, 2007).

### 3.1.1 Geologia e Geomorfologia

Constituída por sedimentos aluviais do Pleistoceno da formação Araguaia, a geologia da Bacia hidrográfica do Bananal define-se como sendo uma bacia hidrográfica de superfície plana de baixa inclinação, com uma área de cerca de 106.000 km<sup>2</sup> (VALENTE et al., 2013).

Nascimento (1980) descreve a formação do Araguaia na região da bacia hidrográfica do rio Formoso, com intercalações métricas a dessimétricas de areias, siltes e argilas, normalmente de textura média a grosseira e coloração amarelada a avermelhada, com variações de cores branca e cinza, ricas em óxidos de Fe-Al.

Martins (2004) explica que sob o aspecto morfológico, a paisagem do Araguaia define-se por uma extensa superfície aplainada formada, por rochas quartzíticas, xistos sercíticos e argilosos alternadas por rochas cristalinas e diabásicas. O autor supracitado salienta que parte desta formação de superfície é mascarada por uma acumulação cenozóica responsável pela fisionomia de extensos terraços ou platôs escalonados em diversos níveis, relacionados a diferentes fases de deposição e, ainda, por uma planície de aluvião de idade relativamente recente.

Quanto aos solos da planície do Araguaia, Martins (2004) os descreve como sendo predominantes Laterita Hidromórfica (Plintossolo), Gley Pouco Húmico (Gleissolo) e Latossolo Amarelo, como segue:

“Lateria Hidromórfica – compreende os solos de textura argilosa média ou argilosa, insuficientemente drenados, moderadamente ácidos e com argila de baixa atividade. Caracterizam-se por apresentar cores de oxidação e redução devido à oscilação do lençol freático, que geralmente é alto nas áreas de ocorrência destes solos.

Gley Pouco Húmico – é caracterizado pela influência do lençol freático, que pode atingir a superfície durante parte do ano. Apresenta horizontes organominerais, com matéria orgânica parcial ou totalmente decomposta, depositada sobre camadas de cores acinzentadas, que indicam deficiência de aeração no solo. Nessas camadas ocorre mosqueado de cores avermelhada ou amarela. Apresenta pouco desenvolvimento, pouca profundidade, baixa porosidade e, portanto, baixa permeabilidade e má drenagem. Pode ser observado um horizonte organomineral, seguido de um gleizado de natureza mineral.

O Latossolo Amarelo está presente nos locais onde a temperatura do solo é sempre elevada e não sofre grandes variações ao longo do tempo. Apresenta baixa capacidade de troca de cátions, baixos teores de goethita e ausência de hematita nos horizontes superficiais. Este solo está sempre associado ao relevo plano e apresenta uma baixa permeabilidade, o que o torna um sistema torne exportador de sedimentos e nutrientes, devido à erosão. Esse processo é acelerado pela pluviosidade elevada e pela baixa

permeabilidade, uma vez que apresenta uma estrutura frágil, que tende a ser distribuída aos baixos teores de ferro e alumínio e elevados valores de sílica. A topografia plana da área, minimiza os aspectos negativos deste solo (MARTINS, 2004)”.

### 3.1.2 Vegetação e Clima

Predomina na região do médio Araguaia uma estação seca e uma estação chuvosa que correspondem a classificação *Aw* de *Köppen*. O clima da região é definido como tropical seco e úmido (VALENTE et al, 2013). No seu período normal de seca os índices de umidade atingem valores em torno de 12 % a 20 %. A precipitação média anual varia entre 1.400 a 2.200 mm ano<sup>-1</sup>, predominante no verão, portanto, mais de 70 % da precipitação total ocorre entre novembro a março. A temperatura média anual varia de 22 °C a 26 °C atingindo um máximo de 38 °C nos meses de agosto e setembro. A menor temperatura registrada na região acontece em junho, durante o inverno, onde chegou-se a 15 °C (VALENTE et al., 2013).

Antes da implantação da agricultura na região a vegetação se apresentava bastante uniforme com algumas variações, sendo elas as Florestas subcaducifólia ciliar, Cerradão, Cerrado e Campos de Várzeas (SEPLAN/TO, 2013; VALENTE et al., 2013). É destacado por Valente et al. (2013) o crescimento e a distribuição espacial das fitofisionomias do bioma Cerrado na região da bacia hidrográfica do rio Formoso, esses são controlados, principalmente, pelas pequenas variações altimétricas do relevo, com a influência da precipitação anual e prolongada inundação sazonal entre janeiro e maio.

As áreas pobremente drenadas e encharcadas nesse período favoreceram o crescimento de tipos de vegetação mais tolerantes à inundação, como as fisionomias mais herbáceas do bioma Cerrado (Campo Limpo e Campo Cerrado), enquanto as inundações por longo tempo inibem o crescimento dos tipos fisionômicos mais densos (SEPLAN/TO, 2013).

### 3.1.3 Características Hidrológicas

A região da bacia hidrográfica do rio Formoso é dotada dos maiores índices pluviométricos do estado do Tocantins e a estação convencional Praia Alta – Sandolândia – TO (26720000), de responsabilidade da ANA, administrada pela CPRM, apresenta uma melhor série histórica para a fluviometria contida no período de 1987 aos anos atuais.

Estudos realizados pelo IAC/UFT (2017), sobre as vazões mínimas ( $Q_{90}$ ) de referência (Tabela 2), apresentaram dados mínimos para o período seco de 0,611 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> indo a 97,02 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> no período de chuvas. Estes valores são importantes para análise em relação aos valores captados pelos empreendimentos nos meses de seca.

Tabela 2 - Vazões mínimas de referência da sub-bacia hidrográfica do rio Formoso.

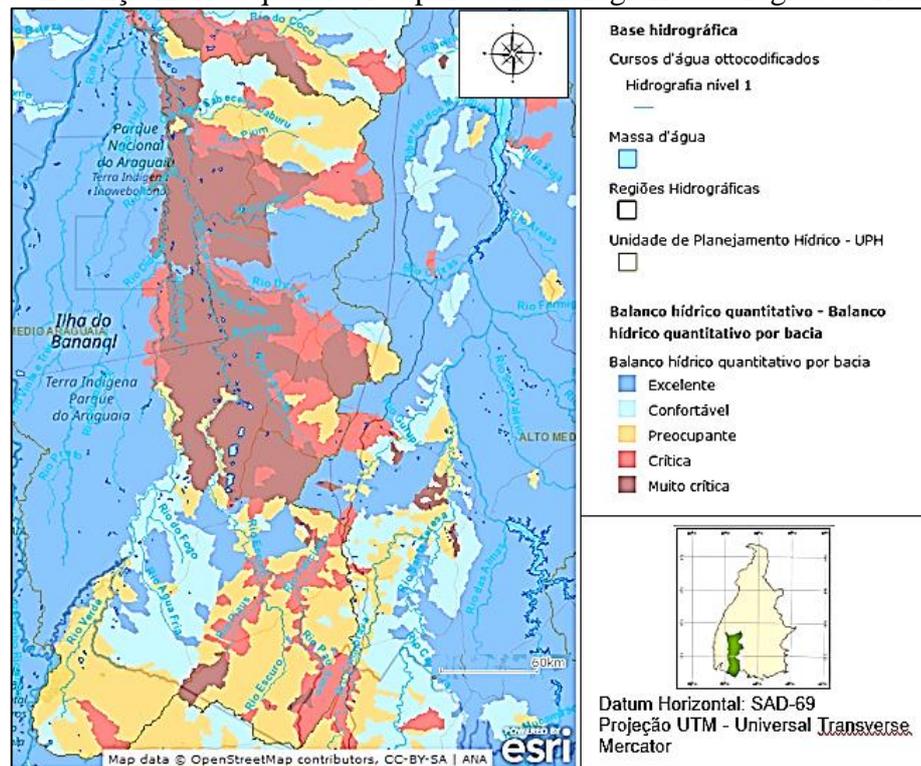
Sub-bacia	Vazão mínima de referência – Q90 ( $m^3 s^{-1}$ )		
	Anual	Seco	Chuvoso
Foz Rio Xavante	0,917	0,611	14,054
Foz Rio Dueré	1,063	0,709	16,303
Foz Rio Urubu	1,867	1,245	28,627
Alto Rio Formoso	1,015	0,677	15,568
Médio Rio Formoso	3,106	2,070	47,620
Baixo Rio Formoso	4,404	2,936	67,525
Foz Rio Formoso	6,327	4,218	97,018

Fonte: Adaptado de IAC/UFT (2017)

A demanda hídrica das culturas de interesse agrônômico é variável de acordo com a cultura, condições físicas do solo, capacidade de armazenamento de água no solo e condições ambientais, contudo nos estudos da Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins, este apresentou um cenário de crescimento variável próximo de 4.000 L s<sup>-1</sup> por intervalo de 10 anos.

A Agência Nacional de Águas – ANA disponibiliza em seu *site* avaliações da situação demanda/disponibilidade das regiões hidrográficas brasileiras utilizando uma escala quantitativa que varia de confortável a crítica, conforme demonstra a Figura 5 a seguir.

Figura 5 - Balanço hídrico quantitativo por bacia hidrográfica da região do rio Formoso.

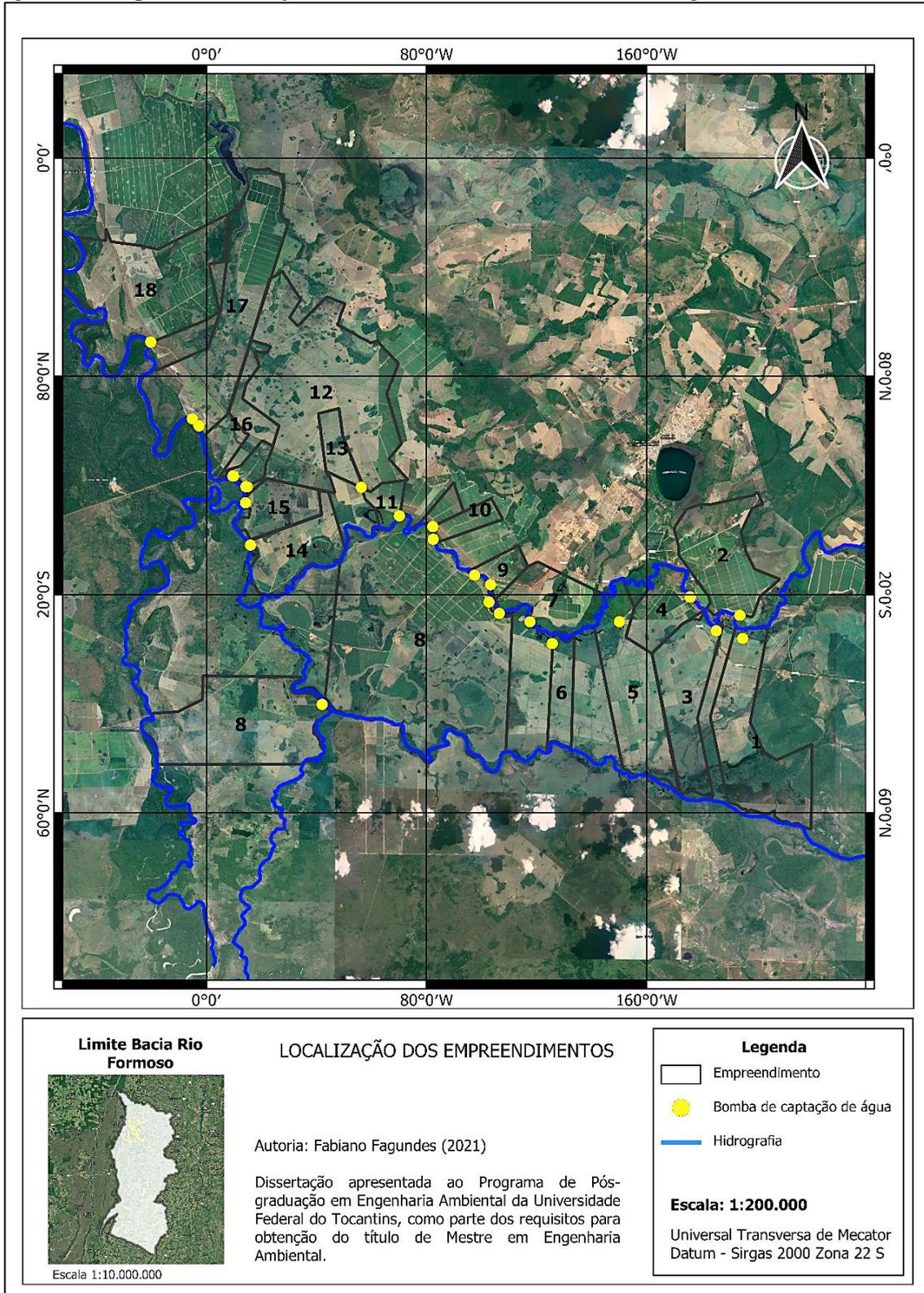


Fonte: Adaptado de ANA (2021)

### 3.1.4 Localização dos Empreendimentos Analisados

A área de estudo desta dissertação, conforme encontra-se destacado no mapa da Figura 6, envolvem os empreendimentos localizados no município de Lagoa da Confusão, margeadas principalmente pelo rio Formoso e rio Urubu.

Figura 6 - Mapa de localização das áreas de estudos na bacia hidrográfica do rio Formoso.



No mapa da Figura 6, são apresentadas de forma macro regional, os dezoito empreendimentos que tiveram bombas ativas em 2019, que dessa forma, apresentaram valores de captação dos cursos d'água para o período de plantio de soja.

Como parte do procedimento metodológico desta dissertação, os empreendimentos analisados foram tratados por códigos numéricos, conforme apontados no mapa da Figura 6.

### 3.2 PERÍODO DE CULTIVO / IRRIGAÇÃO

Para a determinação do período de cultivo e irrigação, inicialmente foram considerados os dados gerados pelo sistema de monitoramento em tempo real GAN/IAC-UFT, assim como os dados auto declaratórios do Questionário de Visita à campo do Relatório Fase B.

Em análise aos dados disponibilizados pelo sistema GAN foi observado que em doze empreendimentos haviam falhas (*no data*) em parte do histórico entre o período de cultivo, que compreende os meses entre maio a setembro. Essas falhas foram decorrentes de possíveis falta de manutenção do sistema, falta de energia elétrica, ausência de sinal telefônico, falta de recarga de crédito nos dispositivos de envio de dados, entre outros.

A frequência dessas falhas não apontou uma sequência lógica, apresentando-se por ocasiões em dias contínuos, chegando a quinze dias sem dados e por vezes, com falhas de um ou dois dias. Foram observadas, no entanto, em 23 bombas de captação de um total de 33. A relação de falhas é apresentada na Tabela 3, em percentuais por empreendimentos.

Tabela 3 – Percentuais de falhas de dados na captação (*no data*) por empreendimento no período de cultivo.

ID	Empreendimento	%
1	03	8
2	16	9
3	02	12
4	18	14
5	01	15
6	17	17
7	09	18
8	14	19
9	07	20
10	11	21
11	08	22
12	15	25

Fonte: Autor (2021)

Para minimizar ao máximo os prejuízos quanto a essa perda de dados, por se tratar um dia específico ou períodos em que não houveram transmissão do volume captado, propôs-se trabalhar em três Grupos distintos de tratamento dos dados, sendo estes:

- Grupo 1- Análise dos seis empreendimentos que apresentaram dados completos de captação, em função do total do volume utilizado para o período;
- Grupo 2- Análise de dezoito empreendimentos pela média diária de captação para o período;
- Grupo 3- Análise de dezoito empreendimentos em função do volume total estimado para o período.

Para a proposta do Grupo 2, foi considerado o valor médio do volume diário captado em  $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$ , levando-se em conta o valor do volume total captado dividido entre os dias que houveram dados de captação informados.

Em relação ao proposto para o Grupo 3, estimou-se os volumes captados nesses dias em que houveram falhas, por análise estatística, em comparação aos dados existentes do empreendimento, como também, levando-se em consideração as imagens indexadas NDVI, estimando de forma aproximada o período de início e fim de cultivo.

No âmbito de melhorar qualitativamente os dados para o Grupo 3, buscou-se refinar os valores dos volumes a serem estimados, na forma de distribuição percentual desses volumes de água, conforme a necessidade hídrica da soja especificado pelo Coeficiente de Cultura – Kc (Tabela 4), ou seja, para cada estágio de desenvolvimento da cultura, onde houveram falhas de preenchimento (*no data*), foram considerados os percentuais de exigência de água para a planta.

Tabela 4 – Coeficiente de cultura (Kc) da soja.

Cultura	Estádio de desenvolvimento da cultura - ciclo				
	I	II	III	IV	V
Soja	0,30-0,40	0,70-0,80	1,00-1,15	0,70-0,80	0,40-0,50

Fonte: Adaptado de Folegatti (2015)

Segundo Folegatti (2015), os primeiros valores apresentados na Tabela 4, por cada fase, correspondem a situações com umidade relativa - UR elevada (maior que 70 %) e vento fraco (menor que  $5 \text{ m s}^{-1}$ ). Já os segundos valores, correspondem a situações com umidade baixa (UR menor que 20 %) e vento forte (maior que  $5 \text{ m s}^{-1}$ ). No caso em tela, por se tratar da região onde se localiza a bacia hidrográfica do rio Formoso, considerou-se os valores percentuais da segunda opção.

As fases de desenvolvimento da cultura correspondem respectivamente: I – 10 % do desenvolvimento vegetativo; II - desenvolvimento vegetativo; III – Florescimento; IV - Ponto

de maturidade fisiológica; V – Colheita. Deste modo, para a aplicação desses percentuais levou-se em consideração as imagens processadas por NDVI.

Nesse sentido, em cada caso específico dos empreendimentos analisados, foram observados os períodos que houveram falhas e o preenchimento ocorreu de acordo com o percentual de necessidade hídrica apontado nos estádios de desenvolvimento da planta (Tabela 4), em relação ao valor da média de captação de todo o período com dados disponibilizados.

### **3.2.1 NDVI – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada.**

Para confeccionar as imagens NDVI, partiu-se para a delimitação da área a ser analisada, dessa forma e de posse dos *shapes* (arquivos georreferenciados) contendo as áreas dos empreendimentos, como também as suas respectivas áreas consolidadas, pode-se definir a região a ser estudada. Porém para a determinação da área realmente irrigada no período, é preciso fazer a delimitação por georreferenciamento, pois não são todos os casos em que os produtores cultivam suas áreas consolidadas na totalidade ou que respeitam seus limites territoriais.

Nesse âmbito, a tecnologia envolvida no Índice de Vegetação da Diferença Normalizada - NDVI, que propõe o monitoramento por imagem real local em datas disponíveis de visitação por satélites se torna imprescindível (KE et al, 2015).

Torna-se necessário proceder com compilações de imagens satélite para se chegar nas imagens NDVI, dessa forma, para esse estudo as imagens selecionadas foram as fotografadas pelo satélite Landsat 8, que possui um vasto catálogo de imagens em datas diversificadas e que são disponibilizadas de forma gratuita no *site* do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>).

Para compreender a área da bacia hidrográfica do rio Formoso, em estudo, foram necessárias à obtenção das camadas de imagens Landsat 8, números: 222/67; 223/67; 222/68; 223/68; para sequencialmente proceder com a composição colorida RGB por meio do *software* QGIS.

As imagens da bacia hidrográfica do rio Formoso selecionadas para composição RGB foram adquiridas com intervalos aproximados de 15 dias a partir do mês de maio até o mês de setembro, correspondente ao período de seca na região, como também de irrigação da cultura da soja semente. Para a seleção das imagens em suas respectivas datas, considerou-se as condições climáticas favoráveis, ou seja, pouca ou nenhuma nebulosidade (nuvens) para não comprometer a refletância luminosa correspondente à vegetação da cultura, condição incondicional para a determinação do NDVI. As datas que satisfizeram esses quesitos foram

respectivamente: 09 de maio; 25 de maio; 10 de junho; 26 de junho; 12 de julho; 28 de julho; 13 de agosto; 29 de agosto; 14 de setembro.

Após as composições das imagens georreferenciadas da bacia hidrográfica do rio Formoso, utilizou-se do QGIS para o cálculo do NDVI.

De posse dessas imagens, que apontam a refletância luminosa da vegetação, com intervalos aproximados de 15 dias, pode-se fazer seu uso para:

- Determinar as áreas com a presença de vegetação temporária (cultivo);
- Delimitar as áreas irrigadas;
- Estimar o período de cultivo;
- Estimar o período de irrigação em acordo com os estádios de desenvolvimento da soja;
- Apontar os empreendimentos que praticam o cultivo de soja tardio ou ciclo longo (Tabela 5), apresentando o índice vegetativo  $> 0,75$  para o mês de agosto.

Para avaliar as áreas com cultivo de soja de ciclo longo (tardio), foram levadas em consideração as imagens NDVI dos dias 28 de julho, 13 de agosto e 29 de agosto, apontando os respectivos percentuais de refletância entre 0,75 e 1,00.

Justifica-se essa análise em função das constantes crises hídricas na região de estudo, haja visto que adentrando o mês de agosto com a cultivar apresentando elevada refletância, fica demonstrado a necessidade, ainda para esse mês, de irrigação conforme explicitado anteriormente nos índices Kc referente a necessidade hídrica da soja, que aponta para os estádios de desenvolvimento IV e V, 80 % e 50 % respectivamente.

Considerando a Tabela 5, por se tratar da bacia hidrográfica do rio Formoso estar localizada na região norte do País, seguiu por análise dos dados os valores de ciclo longo que apontam para cultivos com mais de 125 dias, valores estes que se enquadram com a antiga classificação de “ciclo tardio”.

Tabela 5 – Duração do ciclo da soja em dias para diferentes regiões do Brasil.

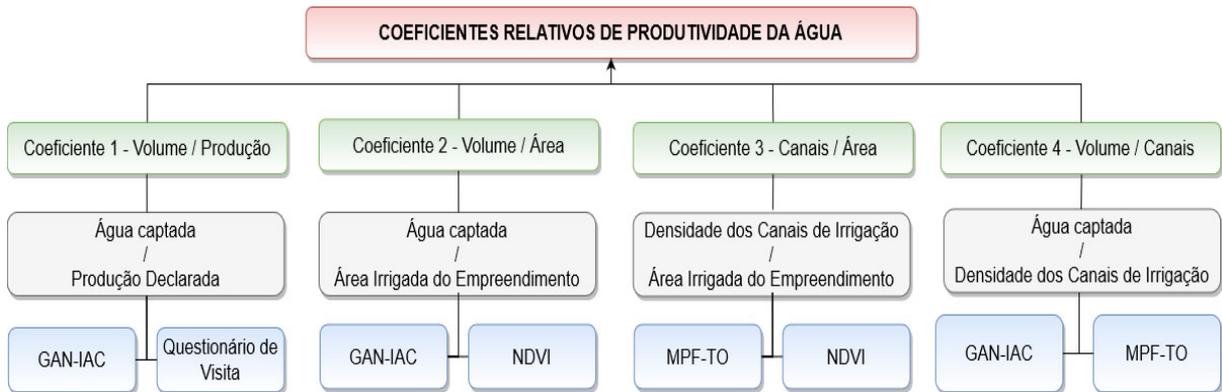
Macrorregião	Estádio		
	Ciclo Curto	Ciclo Médio	Ciclo Longo
Sul	$\leq 130$	131 a 145	$\geq 146$
Centro-Sul	$\leq 125$	126 a 135	$\geq 136$
Sudeste	$\leq 120$	121 a 130	$\geq 131$
Centro-Oeste	$\leq 115$	116 a 125	$\geq 126$
Norte/Nordeste	$\leq 112$	113 a 125	$\geq 126$

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (2019).

### 3.3 COEFICIENTES

Os coeficientes abordados nesta dissertação foram elaborados, conforme a Figura 7, na forma de fluxograma, para simplificar o entendimento sobre as origens das bases dos dados utilizadas.

Figura 7 - Fluxograma do processo metodológico para obtenção dos coeficientes relativos de produtividade da água.



Fonte: Autor (2021).

Dos dezoito empreendimentos desse estudo, doze apresentaram inconsistências nos dados disponíveis, trazendo prejuízos na análise direta desses dados, desse modo foram trabalhados três Grupos de pesquisas para cada um dos quatro coeficientes.

Dessa forma, foram produzidas análises distintas, sendo estas primeiramente referente a seis empreendimentos, com o diferencial de terem o histórico completo de captação real para o período, correspondendo a 11 bombas de captação (Grupo 1). Numa segunda linha, para o Grupo 2, o estudo referiu-se a dezoito empreendimentos com histórico de captação, considerando a média de captação dos dados disponíveis, ou seja, o volume captado dividido pelos dias de captação, correspondendo estes a 33 bombas; E por fim, o Grupo 3 com estudos referente a dezoito empreendimentos com histórico de captação e com valores complementares estimados, também referente a 33 bombas de captação d'água.

#### 3.3.1 Coeficiente 1 – Volume Captado por Produção de Soja

Para a produção de soja se estabeleceu a relação da informação auto declarada no questionário de visita à campo quanto à produtividade média anual por hectare pela área irrigada, ou seja, foi utilizado o valor de área irrigada encontrada por intermédio da metodologia NDVI e não da área consolidada referentes aos empreendimentos.

### 3.3.1.1 Volume captado

Os valores dos volumes captados para irrigação foram obtidos por meio de levantamentos do banco de dados do GAN, sistema pelo qual possui o histórico de captação por bomba implementada. Esse sistema de monitoramento opera em tempo real, contendo: micro usina, medidor e transmissor, podendo este ser acessado via aplicativo ou por página na web (<https://gan.iacuft.org.br/monitoramento-mapa/demanda-hidrica>), ao qual fez-se os *downloads* das planilhas em formato *xls* contendo o histórico do ano de 2019 para cada empreendimento.

### 3.3.2 Coeficiente 2 - Volume captado por Área irrigada

Para a produção do Coeficiente 2 (volume captado / área irrigada), houve inicialmente a necessidade de conhecimento das áreas irrigadas que praticaram o cultivo de soja na safra 2019. Para tal, fez-se a solicitação ao Instituto de Atenção às Cidades – IAC da Universidade Federal do Tocantins – UFT / Gestão de Alto Nível – GAN, para se ter acesso ao relatório de entrevistas à campo dos empreendimentos que fazem captação do recurso hídrico na região.

#### 3.3.2.1 Determinação das áreas irrigadas

Para a determinação das áreas irrigadas, inicialmente se buscou informações quanto as áreas consolidadas das propriedades que possuíam histórico de captação de água por bombas no período de maio a setembro do ano de 2019. Essas foram extraídas da base de dados do SICAR - Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural por meio do *site* (<https://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>) e do SIG-CAR - Sistema de Informação para Gestão do CAR - Cadastro Ambiental Rural por meio do *site* ([http://site.sigcar.com.br/tocantins/pesquisa\\_publica/inicio.jhtml](http://site.sigcar.com.br/tocantins/pesquisa_publica/inicio.jhtml)).

Deste modo e de posse das informações do questionário de visita que apontam quais propriedades cultivaram soja no período de seca do ano de 2019, pode-se estabelecer a relação entre os empreendimentos e os dados de consumo de água. Porém, as informações do CAR e SIG-CAR, não foram conclusivas quanto aos dados reais de área cultivada, necessitando dessa forma, de uma abordagem georreferenciada por imagem satélite. Neste sentido, aplicou-se a metodologia NDVI para a delimitação da área realmente irrigada dos empreendimentos, fornecendo maior confiabilidade para os coeficientes.

### **3.3.3 Coeficiente 3 – Canais de irrigação por Área irrigada**

Ao se questionar quanto as perdas de recurso hídrico por ação física, como evaporação, infiltração antecipada, entre outros, fez-se justificado a elaboração de um coeficiente que leve em consideração a condição final de escoamento da água de irrigação, ou seja, o volume captado não é o mesmo que chega na lavoura, nesse aspecto considerou-se a densidade dos canais de irrigação com a área irrigada de cada propriedade avaliada.

#### **3.3.3.1 Densidade de canais irrigantes**

Por se tratar do sistema de subirrigação, essa região da bacia hidrográfica do rio Formoso, possui um sistema de canais interligados de comprimento e larguras variadas. Desse modo, se faz necessário estabelecer um coeficiente a respeito desses canais, pois interferem diretamente no volume de água que chega até a planta, seja pelo fato de haver a evaporação, a infiltração no solo, entre outros. Portanto o percurso do ponto de coleta até o ponto de irrigação é crucial para a eficiência do uso da água (SENAR, 2020).

Por meio dos *shapes* dos canais georreferenciados da bacia hidrográfica do rio Formoso, fornecidos pelo Ministério Público - TO e com a aplicação de ferramentas disponibilizadas no *software* QGis, pode-se fazer a mensuração do comprimento dos canais de cada empreendimento analisado.

### **3.3.4 Coeficiente 4 – Volume captado por Canais de irrigação**

A metodologia para a determinação do volume captado que trata deste subitem, corresponde a mesma aplicada para o Coeficiente 1, assim como, para a determinação da densidade de canais, que ocorre da mesma forma como foi proposto para o Coeficiente 3.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram analisadas as captações de água dos empreendimentos da bacia hidrográfica do rio Formoso que produzem soja no período de seca. Pode-se trabalhar com dados individuais disponibilizados de trinta e três (33) bombas, distribuídas em dezoito empreendimentos. Todos contendo histórico de captação de água ( $\text{m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ) perfazendo um volume total captado para o período de maio a agosto de 56.382.947  $\text{m}^3$  em relação à safra de soja de 2019, para uma área total irrigada de 17.450 ha.

### 4.1 DADOS DE CULTIVO DOS EMPREENDIMENTOS

A Tabela 6 apresenta o ciclo de plantio da soja, assim como a tipagem de sementes cultivadas autodeclaradas pelos representantes dos empreendimentos, tendo por fonte, o Questionário de visitas à campo realizada pela equipe do IAC/UFT.

O período de irrigação foi extraído dos dados do sistema GAN/IAC–UFT por análise do intervalo entre a primeira e a última captação de água por bombas, não equivalendo necessariamente ao total de dias de captação, este ficou à cargo da contagem simples dos dias que houveram dados transmitidos, conforme a última coluna à direita da Tabela 6.

Tabela 6 – Propriedades avaliadas com seus respectivos períodos de cultivo e de irrigação.

Empreendimento		Ciclo de Maturação			Tipo de Semente	Período de Irrigação		
		Data inicial	Data final	Dias		Data inicial	Data final	Dias
1	17	1-Mai	30-Set	152	precoce, médio	1-Jun	30-Ago	87
2	11	1-Mai	15-Set	118	precoce	9-Mai	22-Jul	74
3	8	1-Mai	30-Set	152	precoce, tardio	11-Jun	27-Ago	68
4	14	8-Mai	30-Ago	114	-	7-Jun	12-Ago	66
5	15	4-Mai	20-Set	139	precoce	6-Jun	10-Ago	65
6	10	1-Mai	5-Set	127	precoce, médio	8-Jun	23-Ago	62
7	9	8-Mai	30-Ago	114	precoce	23-Jun	22-Ago	60
8	6	11-Mai	15-Set	127	tardio	7-Jun	23-Ago	55
9	12	1-Mai	20-Set	142	precoce, médio	14-Jun	18-Ago	55
10	5	10-Mai	30-Set	143	precoce, médio	8-Jun	17-Ago	51
11	7	1-Mai	30-Set	152	-	28-Jun	17-Ago	50
12	1	1-Mai	30-Set	152	-	5-Jun	29-Ago	46
13	18	1-Mai	30-Set	152	médio	12-Jun	28-Ago	36
14	4	1-Mai	18-Ago	140	precoce	22-Jun	23-Ago	36
15	16	1-Mai	20-Set	142	precoce, médio	16-Jun	14-Ago	33
16	13	4-Mai	20-Set	139	-	8-Jul	5-Ago	28
17	2	1-Mai	20-set	142	médio	23-Jun	28-Ago	27
18	3	10-Mai	15-set	128	precoce, médio, tardio	27-Jun	30-Ago	26
<i>Média</i>								<b>51</b>

Fonte: Autor (2021).

O preenchimento do “Tipo de Semente” apontado na tabela, refere-se as informações auto declaratória do Questionário de visita, não cabendo a este trabalho a tipificação. Porém a Tabela 5, constante na metodologia, demonstra que o ciclo tardio envolve cultivos maiores que 125 dias para a região, tornando dúbio a interpretação dessa informação, podendo no caso haver mais de um ciclo de cultivo para o período.

Cabe salientar que alguns representantes dos empreendimentos, em entrevista, não souberam apontar o tipo de cultivar de soja empregado, deixando dessa forma, essa coluna da tabela incompleta.

Em observação aos dados explicitados, evidencia-se que dos 18 empreendimentos, 17 adentraram o mês de agosto com o processo de irrigação por captação de água nos rios, somente o empreendimento 11 concluiu o processo de irrigação ainda em julho, sequenciada pelo empreendimento 13 que encerrou a captação de água na primeira semana de agosto.

Cabe ressaltar que 5 empreendimentos encerraram o processo de irrigação até a primeira quinzena de agosto. Portanto, de todos os empreendimentos estudados, 72 % praticaram irrigação após a data de 15 de agosto.

Destaca-se ainda, o valor da média de 51 dias de captação entre os 18 empreendimentos para o período de irrigação, sendo o empreendimento 3 o que captou água em menos tempo, perfazendo 26 dias.

## 4.2 DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES

Para a elaboração dos coeficientes relativos de produtividade da água, foram pesquisados e ordenados os dados dos empreendimentos por maior área (Tabela 7) com base no que foi apresentado no Capítulo 3 (metodologia) dessa dissertação.

Cabe destaque para a heterogeneidade dos dados obtidos, visto que há empreendimentos com valores muito maiores em proporção de terras, assim como quantidade de canais de irrigação.

### 4.2.1 Coeficiente 1 – Volume captado por Produção de soja

Se faz necessário analisar o volume captado de água em relação a produção de soja, para evidenciar a hipótese de que: se há maior quantidade de água disponível para a planta, haverá maior rendimento dos grãos. Para o cálculo da lâmina d’água que o sistema de irrigação está aplicando, é necessário conhecer a vazão do emissor e a área que ele está irrigando.

Tabela 7 – Dados necessários para a determinação dos coeficientes.

ID	Empreendimento	Área (ha)	Área consolidada (ha)	Área Irrigada (ha)	Canais (km)	Volume Total Captado (m <sup>3</sup> )	Volume Médio Diário (m <sup>3</sup> dia <sup>-1</sup> )
1	8	6.774	3.479	3.613,0	51,60	7.072.863	98.234
2	12	4.436	3.888	3.887,8	86,34	9.139.293	152.322
3	18	3.109	1.626	955,5	20,91	4.747.153	93.081
4	17	2.988	1.595	1.435,9	34,07	8.267.361	95.027
5	1	2.177	575	472,5	3,55	5.333.389	106.668
6	5	1.780	1.298	1.297,7	40,42	2.223.633	44.473
7	2	1.533	983	983,4	22,77	2.916.724	64.816
8	3	1.501	886	886,1	18,92	1.078.472	37.189
9	14	1.152	709	667,3	20,48	1.023.345	26.240
10	7	992	484	381,1	12,02	1.085.666	40.210
11	4	748	545	504,0	14,35	1.888.982	37.780
12	15	678	649	583,7	4,90	4.395.463	133.196
13	6	507	400	399,9	16,54	1.194.396	21.716
14	16	507	406	405,8	15,72	2.583.587	66.246
15	13	350	322	321,6	7,64	594.539	37.159
16	10	286	265	264,5	3,73	1.340.990	21.629
17	9	284	195	194,9	4,71	907.672	30.256
18	11	267	195	194,9	3,41	589.418	21.051
<b>Totais</b>		<b>30.068</b>	<b>18.496</b>	<b>17.450</b>	<b>382</b>	<b>56.382.947</b>	<b>62.627</b>

Fonte: Autor (2021).

#### 4.2.1.1 Produção de soja

Para se avaliar a produção de soja se faz necessário observar alguns de seus parâmetros, dentre eles está a quantidade de recursos hídricos aplicados para o cultivo.

Farias et. al, (2007), em seus estudos, definiram que a planta de soja necessita de 450 a 800 mm de água durante todo o seu ciclo, em média 620 mm. A quantidade de água exigida para a cultura da soja vai aumentando de acordo com o desenvolvimento da planta, atingindo a necessidade máxima de quantidade durante a floração e o enchimento de grãos, período em que a planta necessita de cerca de 7 a 8 mm dia<sup>-1</sup> de água para ter um bom desenvolvimento. No entanto, a cada estágio de desenvolvimento da cultura, a necessidade de água varia. Alguns estádios são mais exigentes, enquanto em outros, não pode haver uma grande oferta de água para as plantas.

Lâmina líquida com base no método climático, Lâmina líquida de irrigação (LL) ou Lâmina de irrigação é a lâmina de água que representa o consumo real de água pela cultura,

essa deverá ser adicionada ao solo para suprir a demanda das plantas num determinado espaço de tempo, o qual pode ser definido pelo turno de irrigação (EMBRAPA, 2009).

Para calcular a produtividade da soja para a safra 2019 dos empreendimentos da bacia hidrográfica do rio Formoso, basicamente consultou-se as informações do levantamento à campo realizado pelo IAC-UFT onde encontram-se dados autodeclarados pelos representantes de cada propriedade sobre sua produtividade para o respectivo ano.

De forma comparativa, cabe a observação que consta na página virtual FARMNEWS, onde aponta que a produtividade média mundial de soja na safra 2018/19 foi de 48 sacas por hectare, o equivalente a 2,88 t ha<sup>-1</sup>. O Brasil apresentou para a mesma safra uma produtividade de 3,37 t ha<sup>-1</sup> (FARMNEWS, 2020).

Dessa forma é apresentado na Tabela 8, a lâmina de irrigação média diária de água para a produção da soja que foi utilizada por cada empreendimento no período de 2019.

Tabela 8 – Produtividade declarada dos empreendimentos da bacia hidrográfica do rio Formoso e a lâmina líquida de irrigação utilizada para cultivo da soja em 2019.

ID	Empreendimento	Volume Médio Diário (L dia <sup>-1</sup> )	Área Irrigada (m <sup>2</sup> )	Produtividade média anual declarada (t ha <sup>-1</sup> )	Lâmina de irrigação (mm dia <sup>-1</sup> )
1	8	98.234.208	36.130.184	3,50	2,72
2	5	44.472.660	12.977.000	3,10	3,43
3	12	152.321.555	38.878.000	3,50	3,92
4	14	26.239.615	6.673.405	3,50	3,93
5	3	37.188.690	8.860.700	2,70	4,20
6	6	21.716.298	3.999.000	3,30	5,43
7	2	64.816.089	9.834.000	2,80	6,59
8	17	95.027.138	14.358.600	3,00	6,62
9	4	37.779.640	5.039.984	3,30	7,50
10	10	21.628.876	2.645.000	2,80	8,18
11	18	93.081.431	9.554.867	2,80	9,74
12	7	40.209.852	3.811.254	4,00	10,55
13	11	21.050.643	1.949.000	2,50	10,80
14	13	37.158.681	3.216.000	3,00	11,55
15	9	30.255.733	1.949.000	2,40	15,52
16	16	66.245.821	4.058.000	3,50	16,32
17	1	106.667.780	4.725.135	3,00	22,57
18	15	133.195.848	5.836.500	2,80	22,82
<b>Média</b>		<b>62.627.253</b>	<b>9.694.202</b>	<b>3,08</b>	<b>10</b>

Fonte: Autor e adaptado do Questionário de visita – IAC/UFT (2020).

A CONAB (2020) divulgou dados da safra 2019/20 em que a produtividade no Tocantins foi de 2,98 t ha<sup>-1</sup> corroborando, de certa forma, por aproximação, do valor médio de produtividade declarado no relatório de pesquisa à campo pelos representantes dos

empreendimentos produtores, que ao final, apresentam variações de produtividade entre 2,4 t ha<sup>-1</sup> a 4,0 t ha<sup>-1</sup>, contudo a média para a região da bacia do rio Formoso, conforme os dados auto declaratórios, se consolidou no valor de 3,08 t ha<sup>-1</sup>, conforme apresentado na Tabela 8.

Analisando aos dados da Tabela 8, observa-se que há um desvio padrão acentuado, levando em consideração a média ser de 10 mm dia<sup>-1</sup>. Entre as menores lâminas apontadas, estranha-se que alguns dos valores não chegaram à metade necessária para a planta, segundo aponta Farias et. al, (2007). Talvez esses empreendimentos possuam outras alternativas de obtenção de água. Já em outro extremo, foram encontrados valores que chegaram a valores três vezes maiores ao máximo necessário. Nesse caso, se induz em uso menos eficiente da água.

Farias et. al, (2007) salienta que o volume de água exigido pela planta depende muito da cultivar escolhida, conseqüentemente, da duração do seu ciclo. Por fim, expõe de forma simplista que, para cada grama do grão de soja produzido, são necessários dois litros de água.

De face do exposto, utilizou-se dos dados declarados no questionário de visita quanto à produtividade média anual (t h<sup>-1</sup>) de cada produtor. Relacionando esses dados com a área cultivada em hectares (metodologia NDVI), dessa forma pode-se calcular a produção estimada em toneladas para cada empreendimento, conforme a tabela 9.

Tabela 9 – Coeficiente relacionado ao volume total captado pela produção estimada.

<i>Coeficiente 1 – Volume captado por produção de soja</i>			
<i>Empreendimento</i>	<i>Grupo 1 (m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>)</i>	<i>Grupo 2 (m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup> t<sup>-1</sup>)</i>	<i>Grupo 3 (m<sup>3</sup> t<sup>-1</sup>)</i>
1		75	3762
2		37	1059
3		16	451
4	931	26	1136
5	553	11	553
6	905	16	905
7		26	712
8		8	559
9		65	1940
10	1811	29	1811
11		43	1210
12	672	11	672
13	616	39	616
14		12	438
15		82	2690
16		43	1819
17		21	1919
18		32	1774
<b><i>Desvio padrão</i></b>	<b>425</b>	<b>21</b>	<b>868</b>

Fonte: Autor (2021).

O coeficiente 1, em tese, é o que representa a produtividade da água, segundo Payero e Irmak (2013). Em seus estudos os autores buscaram melhorar nossa compreensão das necessidades de água da soja, relacionando a quantidade de água necessária à produção de massa seca.

Na análise do Coeficiente 1, aborda-se que quanto menores forem os valores do coeficiente, provavelmente haverá melhor desempenho do uso da água. Cabe enfatizar que esse coeficiente somente, não deve ser analisado como critério de produtividade de água, devendo ser vinculado a demais fatores para uma análise mais coesa.

#### 4.2.2 Coeficiente 2 - Volume captado por Área irrigada

Em análise ao proposto para o Coeficiente 2, aponta-se os valores de proporcionalidade entre o volume captado e a área irrigada para os grupos de estudo (Tabela 10), esta relação é importante para o entendimento do funcionamento do sistema de irrigação.

Tabela 10 - Coeficiente relacionado ao volume de água captada e a área irrigada.

<i>Coeficiente 2 – Volume captado por área irrigada</i>			
<b>Empreendimento</b>	<b>Grupo 1 (<math>m^3 m^{-2}</math>)</b>	<b>Grupo 2 (<math>m^3 dia^{-1} m^{-2}</math>)</b>	<b>Grupo 3 (<math>m^3 m^{-2}</math>)</b>
1		0,0226	1,1287
2		0,0103	0,2966
3		0,0042	0,1217
4	0,307	0,0085	0,3748
5	0,171	0,0034	0,1714
6	0,299	0,0054	0,2987
7		0,0106	0,2849
8		0,0027	0,1958
9		0,0155	0,4657
10	0,507	0,0082	0,5070
11		0,0108	0,3024
12	0,235	0,0039	0,2351
13	0,185	0,0116	0,1849
14		0,0043	0,1533
15		0,0228	0,7531
16		0,0152	0,6367
17		0,0062	0,5758
18		0,0090	0,4968
<b>Desvio padrão</b>	<b>0,122</b>	<b>0,0059</b>	<b>0,2492</b>

Fonte: Autor (2021).

Em análise ao Coeficiente 2, estima-se que quanto menor for a captação de água em proporção a área de terras, melhor será o aproveitamento do recurso hídrico. Porém esse não

deve ser o único fator a ser pontuado como sinônimo de eficiência, visto a necessidade de análise conjunta com outros demais parâmetros.

#### 4.2.3 Coeficiente 3 – Canais de irrigação por Área irrigada

Um outro fator a se considerar, são as condições de distanciamento e transporte da água. Nesse sentido, perdas potenciais de água por infiltração e evaporação são inevitáveis.

Como atenuante, quanto mais canais houverem na área a ser irrigada, maior será o alcance das raízes da cultivar. Em contraposição, haverá maior taxa de evaporação superficial. Nesse sentido, estudou-se um coeficiente (Tabela 11) que relaciona a densidade de canais com a área irrigada dos empreendimentos.

Tabela 11 - Coeficiente relacionado a densidade de canais com a área irrigada.

<i>Empreendimento</i>	<i>(m m<sup>2</sup>)</i>
1	0,00075
2	0,00232
3	0,00214
4	0,00285
5	0,00311
6	0,00414
7	0,00315
8	0,00143
9	0,00241
10	0,00141
11	0,00175
12	0,00222
13	0,00237
14	0,00307
15	0,00084
16	0,00387
17	0,00237
18	0,00219
<b><i>Desvio padrão</i></b>	<b><i>0,00090</i></b>

Fonte: Autor (2021).

No caso em específico do Coeficiente 3 para os Grupos de análise 1, 2 e 3. que consideram seis empreendimentos com dados completos de captação, média diária de captação e estimativa parcial de captação, respectivamente, os valores de densidade de canais e área de irrigação são os mesmos, visto que a mudança na metodologia de análise do volume captado não interferem na relação de Densidade de canais por Área irrigada dos empreendimentos. Nesse sentido não há a necessidade de repeti-los.

#### 4.2.4 Coeficiente 4 – Volume captado por Canais de irrigação

Se faz pertinente analisar volumes de água utilizadas na irrigação em função da densidade dos canais dos respectivos empreendimentos (Tabela 12), para que se possa nortear as análises de produtividade da água.

Tabela 12 - Coeficientes relacionados a quantidade de água extraída pela densidade dos canais irrigantes.

<i>Coeficiente 4 – Volume captado por densidade de canais</i>			
<b>Empreendimento</b>	<b>Grupo 1 (<math>m^3 m^{-1}</math>)</b>	<b>Grupo 2 (<math>m^3 dia^{-1} m^{-1}</math>)</b>	<b>Grupo 3 (<math>m^3 m^{-1}</math>)</b>
1		30,03	1501,31
2		4,44	128,12
3		1,97	57,00
4	108	3,00	131,68
5	55	1,10	55,01
6	72	1,31	72,20
7		3,34	90,29
8		1,88	137,08
9		6,43	192,88
10	359	5,79	359,23
11		6,18	172,95
12	106	1,76	105,85
13	78	4,87	77,87
14		1,40	49,96
15		27,19	897,40
16		3,91	164,36
17		2,61	242,67
18		4,12	227,01
<b>Desvio padrão</b>	<b>104</b>	<b>8,11</b>	<b>355,66</b>

Fonte: Autor (2021).

Pode-se inferir que quanto menor for o coeficiente, maior será a produtividade da água, já que, quanto menor for a quantidade de água utilizada nos canais, maior será sua retenção em relação ao solo e conseqüentemente maior tempo de manutenção da umidade da terra, propiciando desse modo, maior tempo para absorção da planta. Também é provável a influência da planicidade topográfica da região, o que reduz a velocidade de escoamento da água.

#### 4.2.5 Coeficientes por grupos

A seguir, são apresentados os coeficientes por grupo de estudo, visando a análise dos dados de forma associada a metodologia. De início são apontados os coeficientes para o Grupo 1 com seis empreendimentos que possuem históricos completos de captação da água na bacia.

Tabela 13 - Apresentação dos Coeficientes - Grupo 1

<i>Coeficientes do Grupo 1 – Volumes reais captados</i>					
ID	<i>Empreendimento</i>	<i>Coeficiente 1 Vol/Produção</i>	<i>Coeficiente 2 Vol/Área</i>	<i>Coeficiente 3 Canais/Área</i>	<i>Coeficiente 4 Vol/Canais</i>
1	5	553	0,171	0,00311	55
2	13	616	0,185	0,00237	78
3	12	672	0,235	0,00222	106
4	6	905	0,299	0,00414	72
5	4	931	0,307	0,00285	108
6	10	1811	0,507	0,00141	359
<b><i>Desvio Padrão</i></b>		<b>425</b>	<b>0,122</b>	<b>0,00088</b>	<b>104</b>

Fonte: Autor (2021).

Na Tabela 14, são exibidos os coeficientes para o Grupo 2 com os dezoito empreendimentos com falhas (*no data*) nos dados históricos de captação, nesse sentido, fez-se a análise com base nas médias diária de captação de água.

Tabela 14 - Apresentação dos Coeficientes - Grupo 2

<i>Coeficientes do Grupo 2 – Média diária do volume captado</i>					
ID	<i>Empreendimento</i>	<i>Coeficiente 1 Vol/Produção</i>	<i>Coeficiente 2 Vol/Área</i>	<i>Coeficiente 3 Canais/Área</i>	<i>Coeficiente 4 Vol/Canais</i>
1	8	8	0,0027	0,00143	1,88
2	12	11	0,0039	0,00222	1,76
3	5	11	0,0034	0,00311	1,10
4	14	12	0,0043	0,00307	1,40
5	3	16	0,0042	0,00214	1,97
6	6	16	0,0054	0,00414	1,31
7	17	21	0,0062	0,00237	2,61
8	4	26	0,0085	0,00285	3,00
9	7	26	0,0106	0,00315	3,34
10	10	29	0,0082	0,00141	5,79
11	18	32	0,0090	0,00219	4,12
12	2	37	0,0103	0,00232	4,44
13	13	39	0,0116	0,00237	4,87
14	16	43	0,0152	0,00387	3,91
15	11	43	0,0108	0,00175	6,18
16	9	65	0,0155	0,00241	6,43
17	1	75	0,0226	0,00075	30,03
18	15	82	0,0228	0,00084	27,19
<b><i>Desvio Padrão</i></b>		<b>21</b>	<b>0,0059</b>	<b>0,00088</b>	<b>8,11</b>

Fonte: Autor (2021).

Na Tabela 15, são exibidos os coeficientes para o Grupo 3 que analisam dezoito empreendimentos. Como 12 propriedades continham falhas (*no data*) na base de dados, fez a estimativa para preenchimento dessas falhas conforme apontado anteriormente na metodologia.

Tabela 15 – Apresentação dos Coeficientes - Grupo 3

<i>Coeficientes do Grupo 3 – Estimativa parcial do volume captado</i>					
ID	<i>Empreendimento</i>	<i>Coeficiente 1 Vol/Produção</i>	<i>Coeficiente 2 Vol/Área</i>	<i>Coeficiente 3 Canais/Área</i>	<i>Coeficiente 4 Vol/Canais</i>
1	14	438	0,1533	0,00307	49,96
2	3	451	0,1217	0,00214	57,00
3	5	553	0,1714	0,00311	55,01
4	8	559	0,1958	0,00143	137,08
5	13	616	0,1849	0,00237	77,87
6	12	672	0,2351	0,00222	105,85
7	7	712	0,2849	0,00315	90,29
8	6	905	0,2987	0,00414	72,20
9	2	1059	0,2966	0,00232	128,12
10	4	1136	0,3748	0,00285	131,68
11	11	1210	0,3024	0,00175	172,95
12	18	1774	0,4968	0,00219	227,01
13	10	1811	0,5070	0,00141	359,23
14	16	1819	0,6367	0,00387	164,36
15	17	1919	0,5758	0,00237	242,67
16	9	1940	0,4657	0,00241	192,88
17	15	2690	0,7531	0,00084	897,40
18	1	3762	1,1287	0,00075	1501,31
<b><i>Desvio Padrão</i></b>		<b>870</b>	<b>0,2519</b>	<b>0,00088</b>	<b>349,75</b>

Fonte: Autor (2021).

Ao verificar os dados dos coeficientes do Grupo 3, onde estes também abrangem os dezoito empreendimentos, porém tendo valores de captação de água estimados de forma parcial para doze empreendimentos, pode-se averiguar que houveram modificações em função das análises anteriores (Grupo 1 e 2). Essa mudança é reflexo da metodologia aplicada, porém em olhar mais aprofundado, por se tratar de análise de uma maior população e conter metodologia específica de atenuação sobre o impacto dos valores estimados, este modelo ofereceu maior relação que o proposto para o Grupo 2 onde os resultados dos coeficientes foram baseados na média de captação.

### 4.3 ANÁLISE DO USO DA ÁGUA

A análise do uso da água nos empreendimentos a seguir, baseia-se nos coeficientes e em algumas outras características, como sua localização na bacia, geometria da propriedade, perímetro margeando o corpo hídrico e as distâncias percorridas pela água nos canais, seguindo a numeração das propriedades do mapa da figura 6.

O empreendimento 14 possui praticamente 50 % do seu perímetro envolto pelo rio Urubu, o que equivale a aproximadamente 7.486 m, correspondendo a parte oeste e sul da propriedade. Capta água por meio de duas bombas contíguas, distantes 186 m do cultivo, canalizando água até uma distância máxima de 5.105 m do ponto de captação. Possui faixas alagáveis próximas ao rio, e ao norte, divide o canal de irrigação com outra propriedade. Nesse empreendimento há a presença de uma lagoa à sudeste, o que também pode contribuir para a manutenção da umidade do solo, assim como também possa corroborar com o fato do empreendimento em questão ter utilizado uma lâmina média diária, praticamente metade do necessário para o cultivar da soja.

Outro fator que pode justificar o valor de água captada abaixo do normal requerido pela planta é a presença de uma barragem no rio Urubu, à sudoeste da propriedade, onde segue um canal diretamente ao rio, distante 190 m da área de cultivo, podendo deste modo, estar alimentando o canal limitante à leste do empreendimento.

Por ter nos registros quantidades de água captadas significativamente menores que o necessário, é normal que mantenha bons índices nos demais coeficientes que tratam de volume captado, porém é importante salientar que esse empreendimento foi o quarto com registros de que mais dias (66) captou água.

Para o Coeficiente 3 que trata da densidade de canais por área irrigada, esse empreendimento tem um dos melhores números, o que corresponde na boa distribuição espacial dos canais na área irrigável.

A propriedade acima citada tem a geometria da área irrigada parecida com o empreendimento 14, assim como também se assemelham com os demais parâmetros estudados. Possuindo, desse modo, uma boa distribuição de canais dentro do território.

A captação se encontra num braço do rio Urubu distante 27 m do local de cultivo. O ponto mais longínquo de alcance do canal está distante 6.508 m. Todos os limites do empreendimento são formados por canais de irrigação, com exceção à noroeste, por estar margeada 1.397 m pelo rio Urubu.

Ao Sul há uma faixa do terreno de 3.400 m não cultivada devido ser alagadiça, por estar margeada pelo ribeirão Lago Verde, pelo qual, demonstra estar possivelmente fazendo a captação de recurso hídrico, observado a continuidade de dois canais até esses pontos não cultiváveis. O que poderia justificar os apenas 26 dias de captação de água registrados no sistema GAN-IAC. Também justificando o posicionamento entre os melhores coeficientes apresentados. Nesse contexto, cabe ressaltar o valor para a lâmina de cultivo registrada de apenas 4,2 mm dia<sup>-1</sup>.

Analisando o empreendimento 5, podemos citar que o mesmo localiza-se ao sul do rio Urubu que o envolve por 4.370 m, porém nesse trecho não há a possibilidade de cultivo, demonstrado pela existência de um canal de 910 m que permite a chegada da água do rio às duas bombas de captação contíguas que ficam a 225 m da área de cultivo.

Essa propriedade limita-se com o empreendimento 3 e possui algumas características em comum, como o fato de ter os limites laterais do empreendimento formado por canais de irrigação. A área é irrigada por quatro canais principais que atinge a distância máxima de 8.406 m da bomba. Ao Sul, confronta-se com o ribeirão Lago Verde, que possivelmente contribui com a manutenção da umidade no solo do entorno, assim com também pela captação de água, visto a continuidade de três canais até esses pontos não cultiváveis, o que justificaria a predominância de índices entre os melhores apresentados, corroborando para isso o valor da lâmina de cultivo em somente 3,43 mm dia<sup>-1</sup>.

Esse empreendimento possui tanto a área irrigável, como a densidade de canais e a quantidade de água captada, maiores que as respectivas duas propriedades anteriormente citadas, chegando a dobrar esses valores em relação ao empreendimento 14.

O empreendimento 8 tem a área total bem maior que os demais empreendimentos, no entanto a área irrigada corresponde a 47 % de seu território. Nesse contexto, fica entendido o porquê do Coeficiente 3, que trata da densidade de canais, ser um dos mais baixos.

Para o cultivo na propriedade, faz uso de uma faixa de aproximadamente 2.700 m de largura por 8.000 m paralela ao rio Urubu. Esse rio contorna a parte norte da propriedade em 13.524 m. Nesse perímetro encontram-se quatro bombas de captação distanciadas entre si de forma a abastecer aos seus 52 km de canais, o que pode justificar o fato de ser a terceira propriedade que mais volume captou (7.072.863 m<sup>3</sup>), um total de 68 dias, terceiro com mais dias de captação.

Essas bombas ficam distantes, em média, 120 m da área de cultivo, que tendem a irrigar pontos mais distantes, de 3.619 m até 9.508 m. Praticamente não há vizinhos irrigantes na parte em que se cultiva a soja.

A parte do empreendimento que se limita com o ribeirão Lago verde, não é aproveitada para cultivo por apresentar áreas com variações constantes de declividades (Figura 8), demonstrando ser, desse modo, áreas alagadiças. Cabe salientar que um canal à leste da propriedade, que chega até o ribeirão supracitado, possivelmente auxilia na irrigação do cultivo. Assim como há um outro canal à noroeste, sem registro de bombas no sistema GAN, mas que possivelmente também faça captação no rio Urubu.

O empreendimento 8, possui uma porção territorial separada da que margeia o rio Urubu, essa localiza-se à margem esquerda do rio Dueré que cobre um perímetro de 6.806 m, sendo abastecida por uma bomba que se distancia 28 m da área cultivada. O ponto mais distante a irrigar, dessa bomba, encontra-se a uma distância de 5.980 m. Não possui vizinhos irrigantes para esse período do ano de 2019. Essa parte do empreendimento cultiva uma faixa aproximada de 2.900 m de largura paralela ao rio. A oeste, limita-se com o rio Formoso, porém nesse trecho não faz uso de cultivo, nem de captação de água. Porém ao norte possui dois canais que buscam água de outro ponto do rio Dueré, estando essas captações não registradas no sistema GAN-IAC. Possivelmente esses fatos contribuam para justificarem os 2,72 mm dia<sup>-1</sup> de lâmina d'água para o cultivo da soja desse empreendimento.

A propriedade 13 é uma porção de terras esguia, de aproximadamente 1.033 m de largura por 3.300 m de comprimento, ficando entre as menores em proporção de área irrigada, encontra-se envolta por outros empreendimentos irrigantes, tendo 100 % de seu contorno composto por canais. No centro, há uma área não própria ao cultivo, praticamente separando a propriedade em duas áreas distintas.

O diferencial desse imóvel, em comparação aos demais, é que não é margeado por nenhum rio. Para a irrigação, faz-se a captação de água por intermédio de um canal com comprimento de 1.270 m que parte de um braço não contínuo do rio Urubu. A partir desse ponto, com uma bomba de captação, faz a distribuição para a área cultivada distante 48 m, percorrendo quatro canais principais até atingir o ponto mais distante à 4.710 m. Nos registros de captação, esse empreendimento fica em penúltimo na quantidade de recurso hídrico extraído, tendo 28 dias de captação, porém perfaz uma lâmina d'água de 11,55 mm dia<sup>-1</sup>, bem acima dos 7 a 8 mm dia<sup>-1</sup> máximos para a soja, conforme aponta Farias et. al, (2007).

No contexto dos coeficientes, o empreendimento apresenta valores acima da média em comparação aos demais analisados. Isso pode estar relacionado à distância entre o ponto de captação e a área irrigada, em que pode ocorrer grande perda de água ao longo desse percurso.

O empreendimento 12, que praticamente contorna o 13, tem um território irrigado (3.888 ha) bem mais vasto. Possui dimensões de cerca de 8.750 m de norte a sul, e 6.548 m de

leste a oeste. É abastecido por duas bombas de captação no rio Formoso e conta com mais duas bombas de captação no rio Urubu. De todos os empreendimentos estudados, esse é o que mais captou água (9.139.293 m<sup>3</sup>). A captação no rio Formoso é distante 1.100 m da área de cultivo, chegando ao ponto mais distante percorrido por canais em 18.304 m da bomba. Já para a irrigação da parte que faz captação do rio Urubu, a água chega por intermédio de um canal que parte de um braço não contínuo do rio Urubu, com comprimento de 1.270 m. A partir desse ponto, faz a distribuição para a área cultivada distante à 106 m. Dessa forma, praticamente não há confrontação da propriedade com os rios supracitados, porém limita-se na maioria, por canais com os outros empreendimentos. Sua área apresenta alguns pontos com variação de declividade (Figura 8), essas, porém, sem aproveitamento para a agricultura, visto serem alagadiças.

Os quatro coeficientes apontam índices qualitativos para o empreendimento, assim como a lâmina média de irrigação de 3,92 mm dia<sup>-1</sup> (a terceira menor), se enquadra um pouco abaixo da média aceitável para o ciclo da soja, que segundo Payero e Irmak (2013), varia entre 4,0 mm dia<sup>-1</sup> e 5,0 mm dia<sup>-1</sup>. Há também a possibilidade de haver a presença de outros pontos de captação de água não contabilizados. Esse fato possivelmente ocorre na parte nordeste da propriedade, pela extensão de um dos canais atingindo um dos tributários do rio Douradinho.

O empreendimento 7 tem o cultivo da soja de forma mais isolado, em comparação com os demais estabelecimentos estudados, quando se trata de vizinhos irrigantes. Limita-se com o rio Urubu ao sul, perfazendo um perímetro de 9.025 m, correspondente a mais que 50 % do total da propriedade. O ponto de captação de água fica distante do cultivo 354 m. A água é canalizada por 4.290 m até o ponto mais longínquo. Possui uma faixa pantanosa margeando o rio com aproximadamente 600 m. Concentra o cultivo na parte centro-leste da propriedade. Praticamente não tem limites com canais de irrigação. Apresenta os valores dos quatro coeficientes condizentes com a proposta de produtividade da água, se comparado aos demais empreendimentos. O ponto negativo está na lâmina de irrigação, com o valor médio de 10,55 mm dia<sup>-1</sup> para o ciclo da soja.

A propriedade 6 apresenta uma largura de 1.010 m e comprimento de 4.100 m. Limita-se ao norte margeada por 1.374 m pelo rio Urubu onde faz a captação de água por meio de uma bomba que fica distante 417 m do rio e 417 m distante da área de cultivo. O ponto mais distante percorrido pela água a partir do ponto de coleta chega à 5.370 m. Os canais exclusivos dessa propriedade em específico, são todos paralelos ao sentido dos rios.

Qualitativamente os quatro coeficientes apresentados sugerem razoável capacidade produtiva da água, visto que o valor para a lâmina de cultivo registrada foi de 5,43 mm dia<sup>-1</sup>.

Esse valor se deve provavelmente, por apresentar a melhor relação entre todos do volume captado por densidade de canais, porém, ao se observar o panorama espacial, fica demonstrado que ao sul do empreendimento, margeado pelo ribeirão Lago Verde e tendo por divisas à leste e à oeste canais irrigantes que chegam até ao próprio ribeirão Lago Verde, que possivelmente fazem a contribuição para o preenchimento dos mesmos.

Já o empreendimento 2, localizado ao norte do rio Urubu e margeada por ele por cerca de 1.212 m, fez a captação de água por somente 27 dias, por meio de duas bombas próximas uma da outra, ficando estas, distantes 129 m da área de cultivo. Mesmo utilizando a segunda menor marca de dias de captação, a lâmina média de irrigação se estabeleceu em  $6,59 \text{ mm dia}^{-1}$ , quase atingindo a média de maior evapotranspiração para o estágio (Kc de floração).

O ponto mais longe da captação atingido pelos canais é de 5.865 m. A propriedade ao norte possui uma longa faixa não cultivável com cerca de 1.200 m de largura. Apresenta dimensões aproximadas de 3.500 m por 2.500 m, a distribuição se dá por cinco canais principais orientados perpendicularmente ao ponto de captação, seguindo no sentido à noroeste. Por fim, não possuindo vizinhos irrigantes próximos.

Ao analisar em conjunto os coeficientes desse empreendimento, em comparação aos demais, percebe-se que os índices começam a se destoar do conceito de produtividade da água.

Margeado por 5.538 m ao sul do rio Urubu, o empreendimento 4 possui duas bombas de captação à poucos metros uma da outra, distanciadas por 260 m do cultivo. A maior distância a percorrer pela água é de 3.991 m. Apresenta uma lâmina de irrigação média de  $7,50 \text{ mm dia}^{-1}$ , dessa forma, atingindo a média dos estádios de maturação e floração para a soja.

Ao Norte apresenta uma extensão considerável de área não irrigável devido, principalmente a variações de declividade, que por se encontrar às margens dos rios, se traduzem em alagamentos, principalmente em épocas de cheias. Possui quatro faixas principais de cultivo irrigadas por primordialmente por três canais. À sudoeste e sudeste, divide áreas com propriedades irrigantes, inclusive limitando-se por canais.

Em análise ao empreendimento 11, pode-se observar que o mesmo é abastecido por uma bomba de captação de água localizada no rio Urubu. À oeste, confronta-se com o canal que abastece os empreendimentos 12 e 13. Na parte sul há uma porção de terras não cultiváveis de aproximadamente 893 m de largura que contém um braço do rio Urubu. A captação fica a 87 m distanciada do plantio que se estende até 2.623 m ao ponto de irrigação mais longínquo.

Em proporção de terras, esse empreendimento é o de menor área dentre os 18 analisados. Dessa forma, é o que também tem a menor densidade de canais e a que captou o menor volume de água, entre os demais ( $589.418 \text{ m}^3$ ). Contudo é o segundo que mais dias praticou a captação

de recurso hídrico, totalizando 74 dias. Perfazendo, desse modo, uma lâmina de irrigação de 10,80 mm dia<sup>-1</sup>, bem acima dos valores ideais de produtividade da água. Refletindo numa queda qualitativa dos quatro coeficientes analisados.

O empreendimento 18 é o terceiro maior em proporção de terras se comparado aos demais estudados, porém a área irrigada equivale somente a 31 % do território. Observa-se que essa propriedade é uma das mais impactadas internamente por declives superiores a 3 %, chegando em alguns casos, a serem maiores que 6 % (Figura 8). Dessa forma, são formadas várias pequenas porções de áreas não cultiváveis. Portanto, é possível que essas pequenas áreas, por estarem por entre as faixas cultiváveis, promova de alguma forma, impactos negativos à distribuição da água, conseqüentemente afetando numericamente os coeficientes.

Por ser o quinto empreendimento que mais se utilizou de volume de recurso hídrico, a lâmina de irrigação foi de 9,74 mm dia<sup>-1</sup>, valor considerado elevado para o cultivo da soja. A propriedade supracitada é margeada à oeste pelo rio Formoso, perfazendo um perímetro de 16.593 m, captando água desse corpo hídrico por intermédio de duas bombas próximas entre si, distantes 199 m da área a de cultivo. O ponto mais distante a irrigar, percorre os canais por até 7.468 m. Próximo ao rio há áreas próprias para o cultivo, porém nesse período de 2019 não fora utilizada.

O empreendimento 10, localizado à nordeste do rio Urubu, tem basicamente 905 m de largura e 3.056 m de comprimento. Possui um canal central principal e dois laterais nas divisas da propriedade, confrontando ao fundo também com um canal. O rio Urubu margeia o empreendimento por 777 m tendo nele uma bomba de captação distante 171 m da área de cultivo e distante aproximadamente 4.000 m do ponto mais extremo da propriedade, demonstrando planicidade em todo o seu território. Essa propriedade está entre as que apresentam menor proporção territorial, inclusive de área irrigada. Apresenta baixa densidade de canais, porém um elevado volume de água extraído do corpo hídrico. Por essas propriedades, os coeficientes apresentam índices de baixa produtividade de água. Corrobora para isso a lâmina líquida de irrigação de 8,18 mm dia<sup>-1</sup>.

Com uma geometria bem complexa, o empreendimento 16 é margeado pelo rio Formoso por 719 m, tendo duas bombas contíguas captando recurso hídrico distantes 61 m do início da área cultivada. Os canais levam água num percurso de 7.408 m aproximadamente. A propriedade é impactada pela declividade acentuada em dois pontos, um ao sul e outro central, ocasionando na impossibilidade de cultivo nesses pontos. Todos os seus vizinhos são irrigantes, possuindo dessa forma, vários canais nas divisas da propriedade. Basicamente, essa propriedade se assemelha em área irrigada e densidade de canais com o empreendimento 6, porém, captou

116 % mais água para o período. Dessa forma os coeficientes apresentados são inferiores, na comparação entre as duas propriedades. Demonstrando uma lâmina de irrigação de  $16,32 \text{ mm dia}^{-1}$ , mais que o dobro para a exigência máxima do cultivar de soja.

O empreendimento 17 que também faz fronteira com o 16, é margeado à sul/sudoeste pelo rio Formoso, tendo nesse corpo hídrico, perímetro de 8.324 m, possuindo três bombas de captação de água, sendo duas contíguas e uma distante dessa, 427 m. Essas bombas abastecem canais distintos, distantes da área de cultivo 1.200 m e 560 m respectivamente. O ponto mais longínquo para a chegada da água por canais está a 13.835 m. A lâmina de irrigação desse empreendimento é de  $6,62 \text{ mm dia}^{-1}$ , porém cabe a observação de que à oeste, a propriedade apresenta uma faixa de área pantanosa. Sua faixa principal de cultivo se estende por 12.160 m tendo 1.942 m de largura, apresentando como canais principais, um central e um à leste confrontando com vizinhos. Ao Norte, há a continuidade de um canal que adentra num lago fora dos limites do empreendimento, que por sua vez, possivelmente contribui para a irrigação da safra. Desse modo e por ter o terceiro maior volume de água captado, os coeficientes se demonstram pouco produtivos para uso dos recursos hídricos.

O empreendimento 9 é margeado 1.890 m pelo rio Urubu, capta água nesse corpo hídrico por intermédio de uma bomba que fica distante 112 m da área de cultivo. A canalização chega até uma distância de 2.151 m. A propriedade tem uma pequena lagoa na parte central, e na parte nordeste, há a impossibilidade de cultivo devido as condições de declividade que se apresentam mais acentuadas, demonstrando ser uma área inundável. Vizinhos irrigantes só há na parte noroeste a qual tem um canal por divisa. Territorialmente se iguala ao empreendimento 11, como as menores áreas irrigadas dos 18 empreendimentos analisados. Porém, devido ao volume que fez captação, apresenta uma lâmina de irrigação de  $15,52 \text{ mm dia}^{-1}$ , associado a isso, todos os coeficientes apontam para possíveis desperdícios de recurso hídrico.

Localizado na margem leste do rio Formoso, o empreendimento 15 faz captação de água por meio de uma bomba que se distancia 162 m do início da área de cultivo. Por meio de canais a água chega até o ponto mais distante à 4.350 m. Dentro da propriedade há oito pequenas áreas que são alagadiças, não cultiváveis, que possivelmente interferem na distribuição dos canais. A norte, leste e ao sul, o empreendimento delimita-se por meio de canais com outras propriedades irrigantes. Cabe ressaltar que à leste a propriedade é margeada tanto pelo rio formoso quanto pelo rio Urubu por cerca de 2.572 m. Em proporção territorial, esse empreendimento apresenta baixa densidade de canais, porém a captação de água é inversamente proporcional. A lâmina de irrigação se configura como a maior de todas as propriedades avaliadas, perfazendo

22,82 mm dia<sup>-1</sup>, o que pode ser um forte indício de uso inadequado da água, corroborando para isso, os demais índices dos quatro coeficientes abordados.

Por fim, o empreendimento 1 faz a captação de água num braço do rio Urubu distante 95 m do local de cultivo. O ponto mais longínquo de alcance do canal está distante 6.198 m. Os limites à leste e à oeste com os demais empreendimentos são por meio de canais de irrigação, com exceção à norte, por estar margeada 1.505 m pelo rio Urubu. O empreendimento faz a distribuição da água por três canais principais, os dois limitantes, como mencionado anteriormente, e mais um centralizado na propriedade, distribuídos numa largura de terreno de 1.690 m. Ao Sul, há uma faixa do terreno de 2.523 m não cultivada devido ser alagadiça e apresentando maiores desníveis, possivelmente também, pelo fato de ser margeada pelo ribeirão Lago Verde, pelo qual, possivelmente também faça captação de água.

A área total do empreendimento é de 2.177 ha, porém a área cultivada foi de 22 % somente. É o segundo empreendimento com menor densidade de canais. Contudo é o quarto em volume de água captada. Dessa forma, apresenta uma lâmina de irrigação de 22,57 mm dia<sup>-1</sup>, a segunda mais elevada entre todos os empreendimentos avaliados.

No que tange aos coeficientes, o empreendimento 1 apresentou índices inferiores em todos os quatro propostos, comparado às demais propriedades.

#### 4.3.1 Declividade do terreno

A seguir, é apresentado a distribuição das classes de declividade, conforme estudos elaborados pela EMBRAPA, conforme a tabela 16.

Tabela 16 – Classes de declividade.

<b>Classe de relevo</b>	<b>Declividade (%)</b>
Plano	0 – 3
Suave Ondulado	3 – 8
Ondulado	8 – 20
Forte Ondulado	20 – 45
Montanhoso	45 – 75
Escarpado	> 75

Fonte: Adaptado de EMBRAPA (1979).

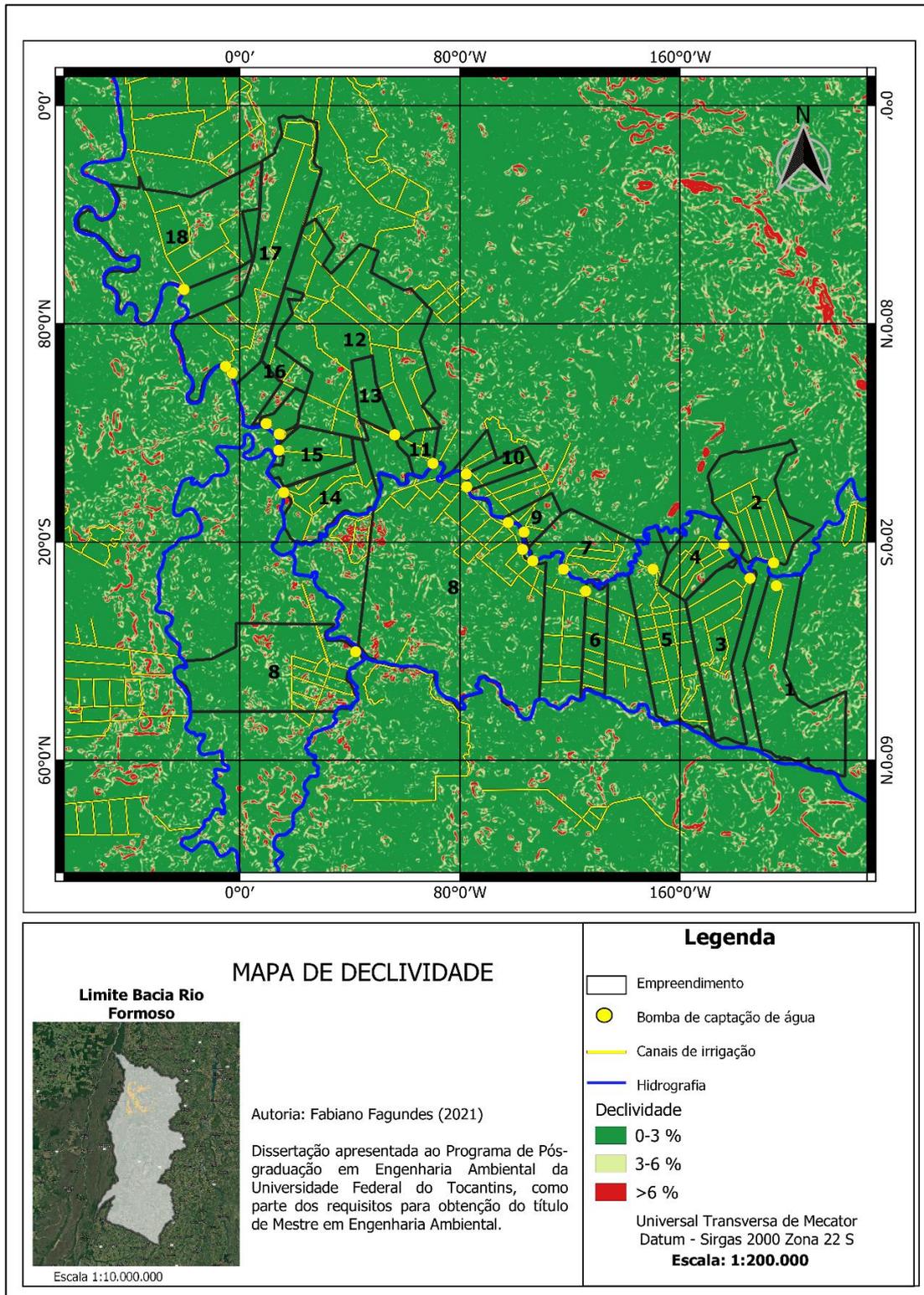
A declividade encontrada para a região de estudo na bacia hidrográfica do rio Formoso está entre 0 % a 3 %, sendo que pequenas porções apresentam elevação maior que 3 %.

Deste modo fica observado, conforme o mapa da Figura 8 e a classificação da Tabela 16, que as áreas em estudo cultivadas na bacia do rio Formoso, apresentam relevo plano.

As áreas de relevo mais acentuado, maiores que 3 %, são praticamente os taludes às margens dos rios e as áreas alagadiças não utilizadas para cultivo.

Dessa forma, é provável que o escoamento superficial das águas canalizadas se comporta de maneira equivalente em todos os empreendimentos analisados. Há de se frisar que fatores que alteram o escoamento estão relacionados à mudança de tipologia do solo, geometria e cota do canal (em relação ao plantio), erodibilidade e assoreamento do mesmo.

Figura 8 – Mapa de declividade em percentual dos empreendimentos da bacia do rio Formoso.

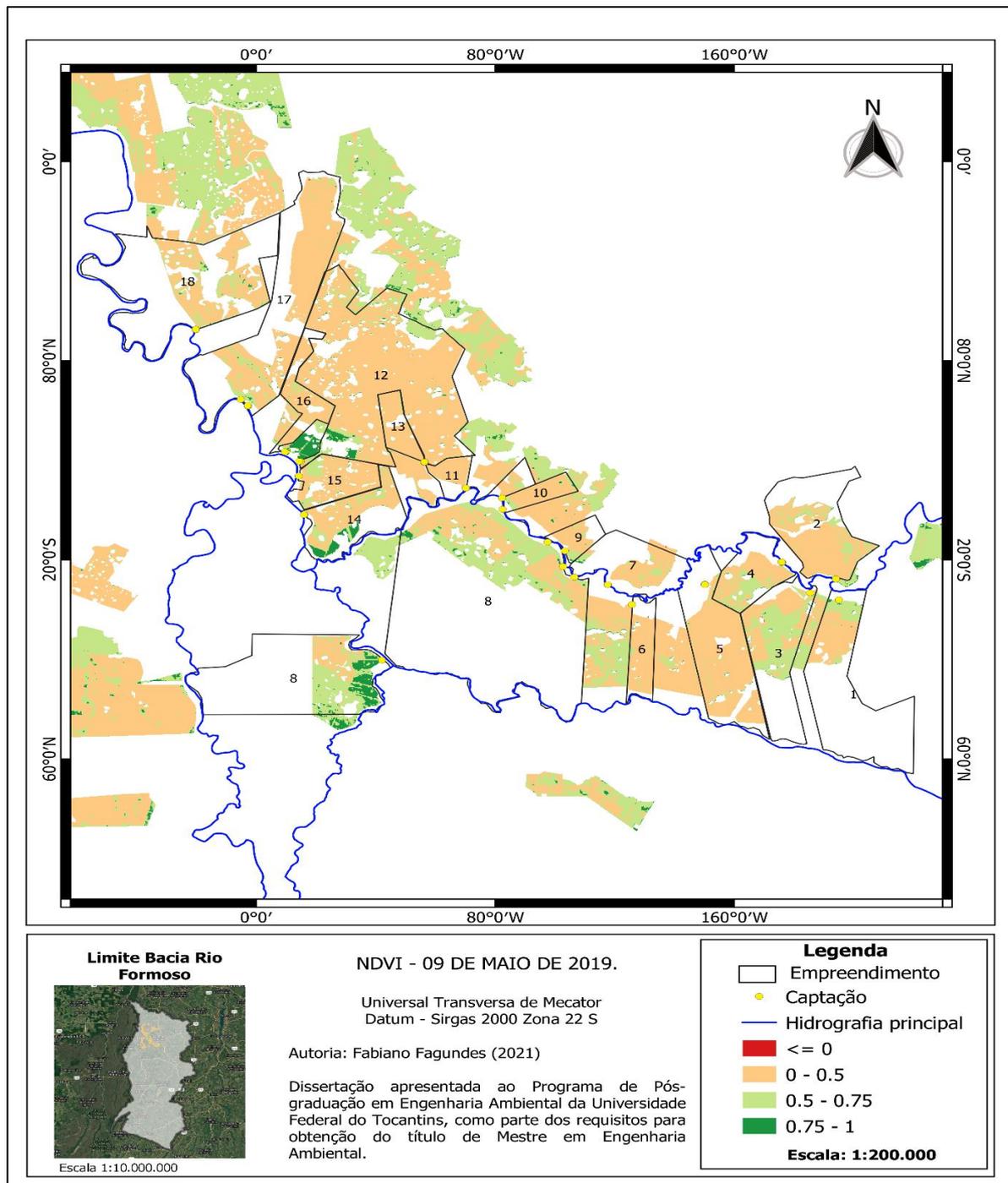


## NDVI - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA

Pela aplicação da metodologia NDVI no âmbito do índice vegetativo, visualiza-se os ciclos de plantio da soja dos empreendimentos com histórico de captação de água em 2019, referente a parte mais ao norte da bacia hidrográfica do rio Formoso, no município da Lagoa da Confusão, localizados às margens do rio Urubu, Dueré, Formoso e ribeirão Lago Verde.

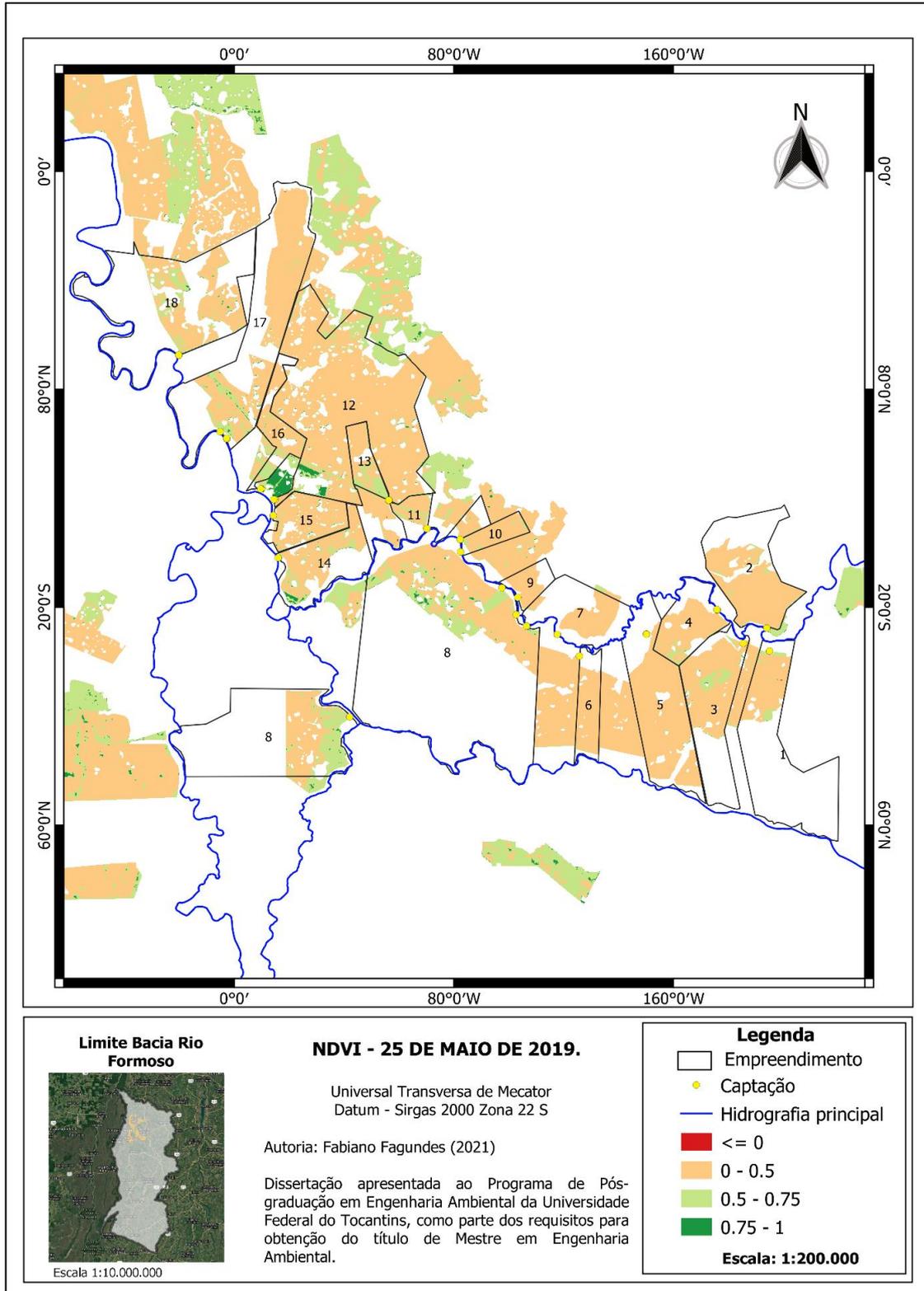
A figura 9 apresenta o mapa NDVI da primeira data investigada, para a partir dela, servir como referência às demais na análise da mudança vegetativa no solo.

Figura 9 – Mapa NDVI, referente ao dia 09 de maio de 2019.



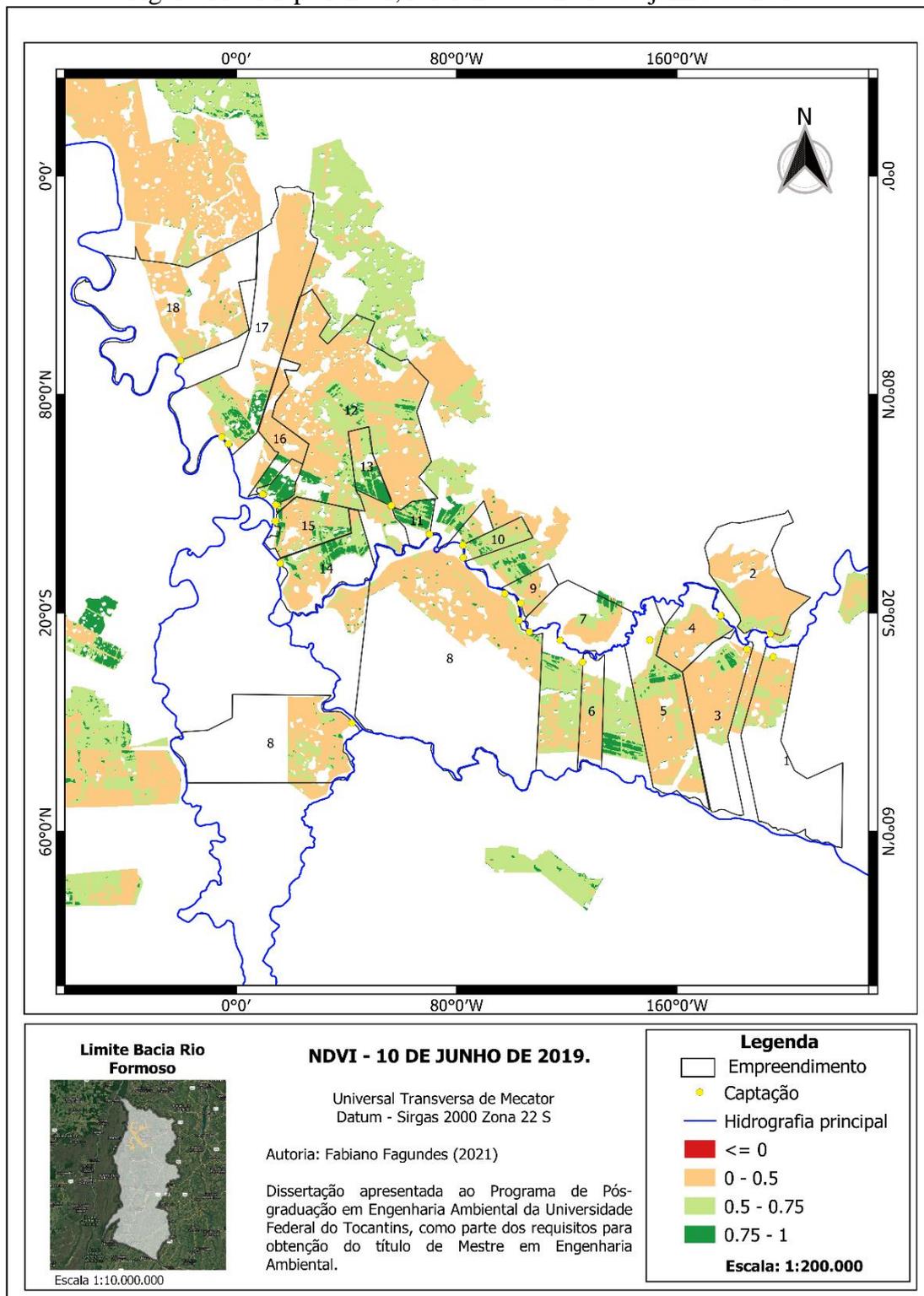
Em 25 de maio (Figura 10) é possível observar que boa parte do solo se apresenta com baixo índice vegetativo, ou seja, havendo nessa ocasião o preparo do solo ou o início do plantio, coincidindo com as informações do GAN referente ao período de irrigação que, na maioria das propriedades, se iniciou entre a primeira e a segunda semana de junho.

Figura 10 – Mapa NDVI, referente ao dia 25 de maio de 2019.



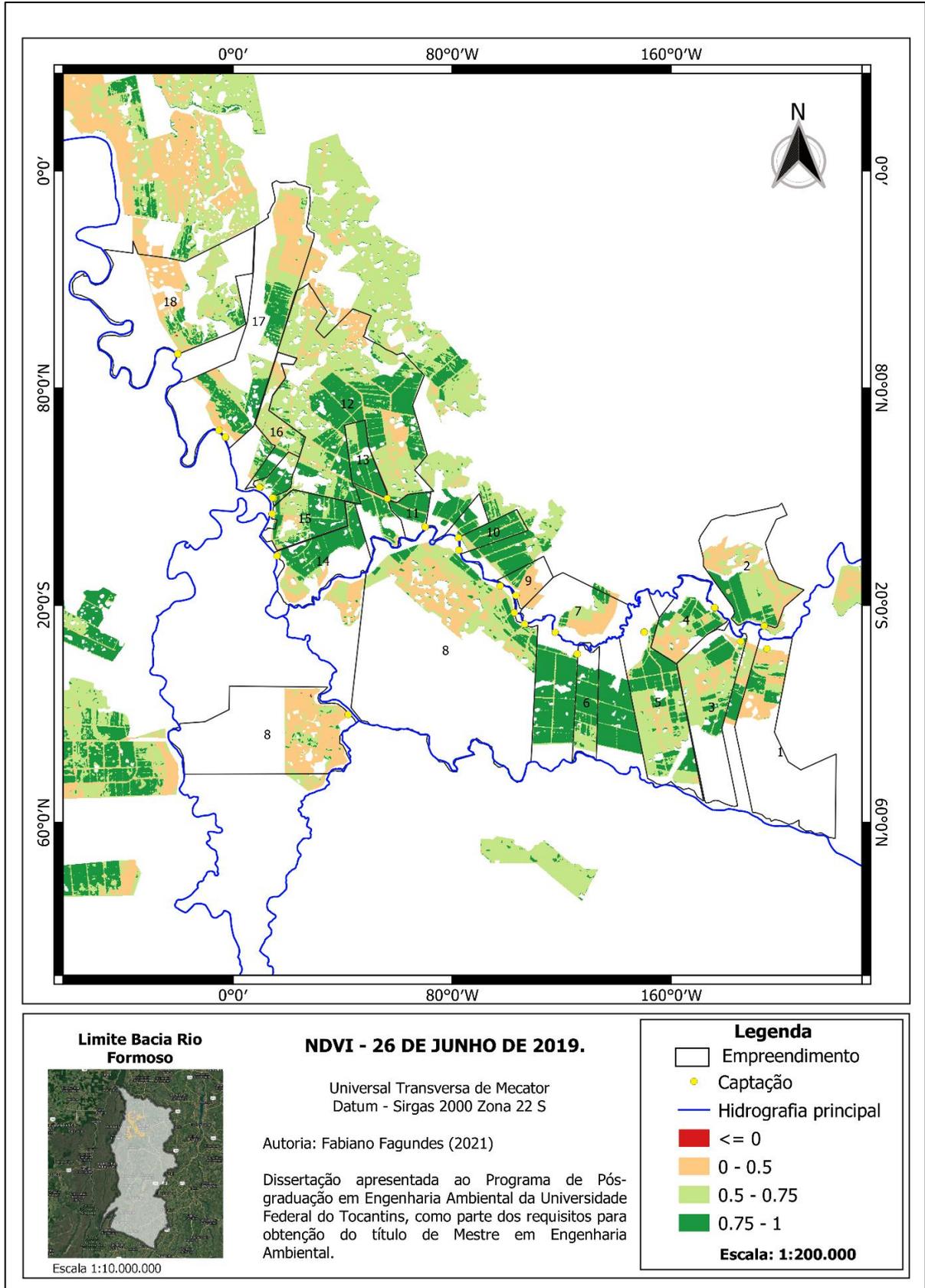
Ao analisar o mapa da Figura 10, pode-se ressaltar que os dados não corroboram com as informações auto declaratórias do questionário de visita à campo, no que se refere às datas de início de plantio, visto que no relatório é informado que o início do plantio acontece, por parte da maioria dos empreendimentos, entre os dias 1º à 10 de maio, com exceção para o empreendimento 11, que de fato iniciou a irrigação em 9 de maio.

Figura 11 – Mapa NDVI, referente ao dia 10 de junho de 2019.



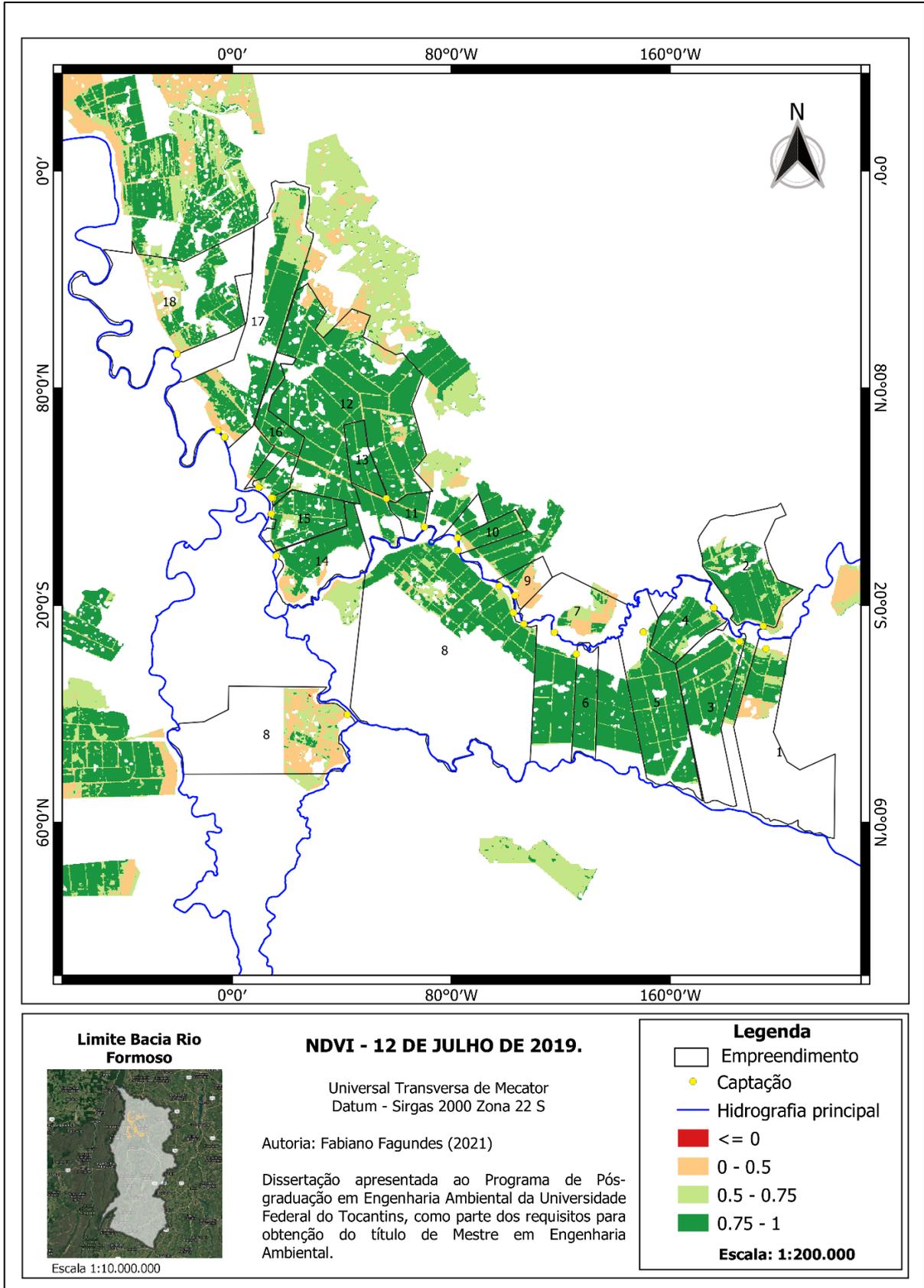
O mapa da imagem do dia 26 de junho (Figura 12), demonstra um aumento representativo da vegetação, visto a elevação da escala acima de 0,5 do índice de vegetação.

Figura 12 – Mapa NDVI, referente ao dia 26 de junho de 2019.



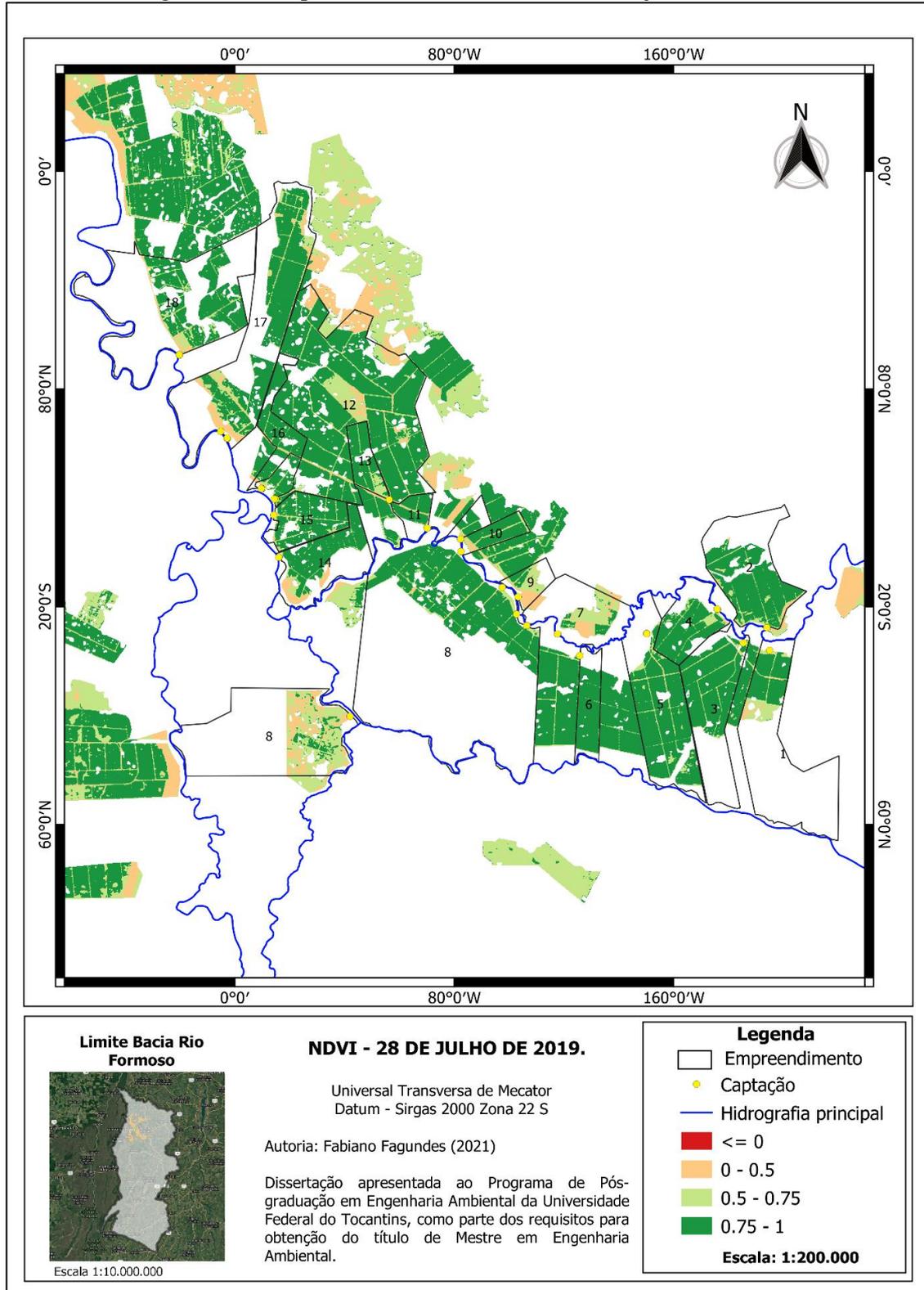
Em análise ao mapa da Figura 13 fica demonstrado um acentuado aumento do índice de vegetação acima de 0,75 comparando-o com o da data anterior.

Figura 13 – Mapa NDVI, referente ao dia 12 de julho de 2019.



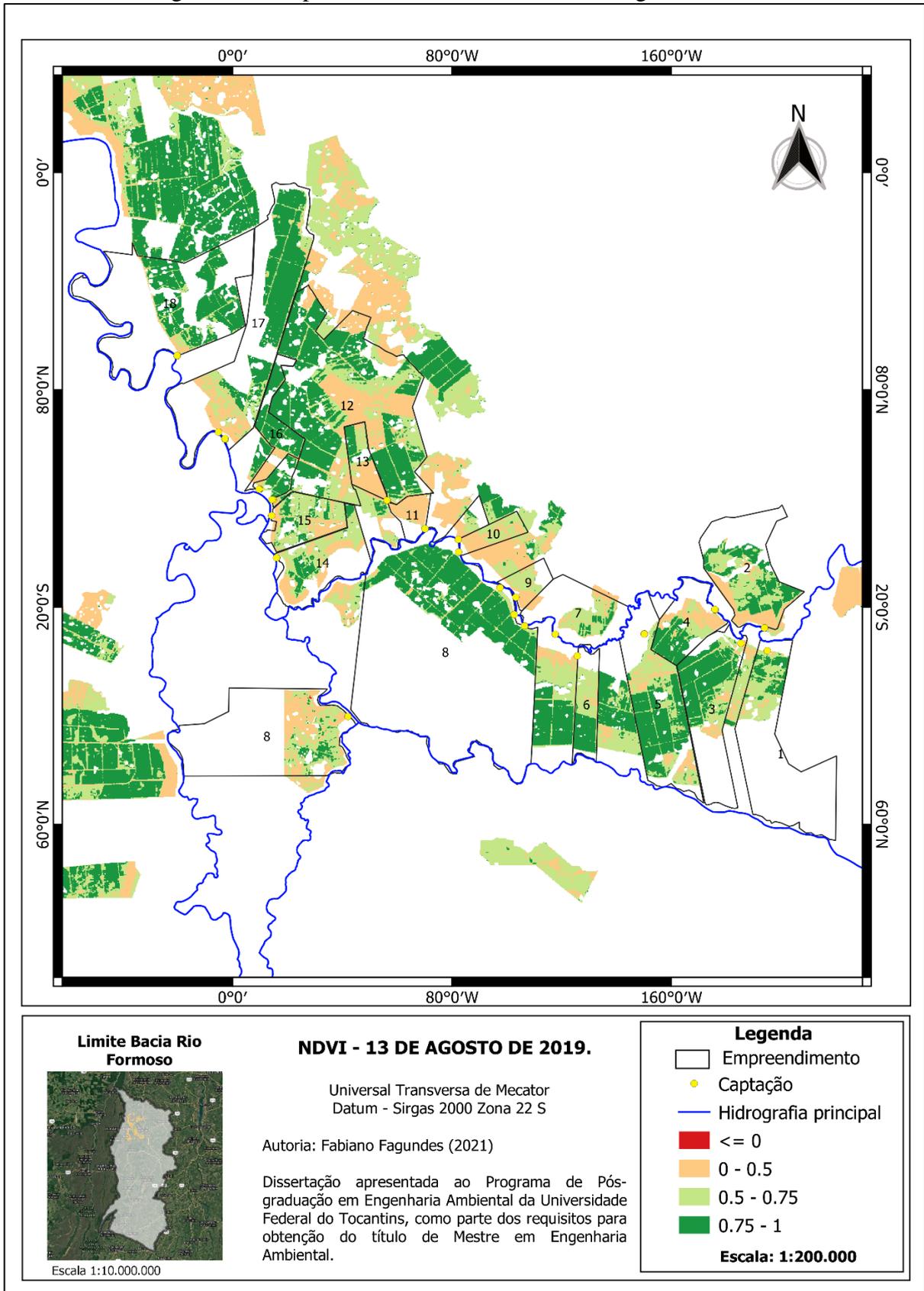
Comparando os mapas (Figuras 13 e 14), evidencia-se que houve pouca mudança no índice de vegetação acima de 0,75 contudo nessa data, há a demonstração da máxima produção vegetativa para o período, ou seja, a soja se apresenta quase que totalmente nos seus estádios de florescimento e ponto de maturidade fisiológica.

Figura 14 – Mapa NDVI, referente ao dia 28 de julho de 2019.



Para o dia 13 de agosto, o NDVI do mapa da Figura 15, demonstra o decaimento do índice vegetativo, se apresentando gradualmente abaixo de 0,5.

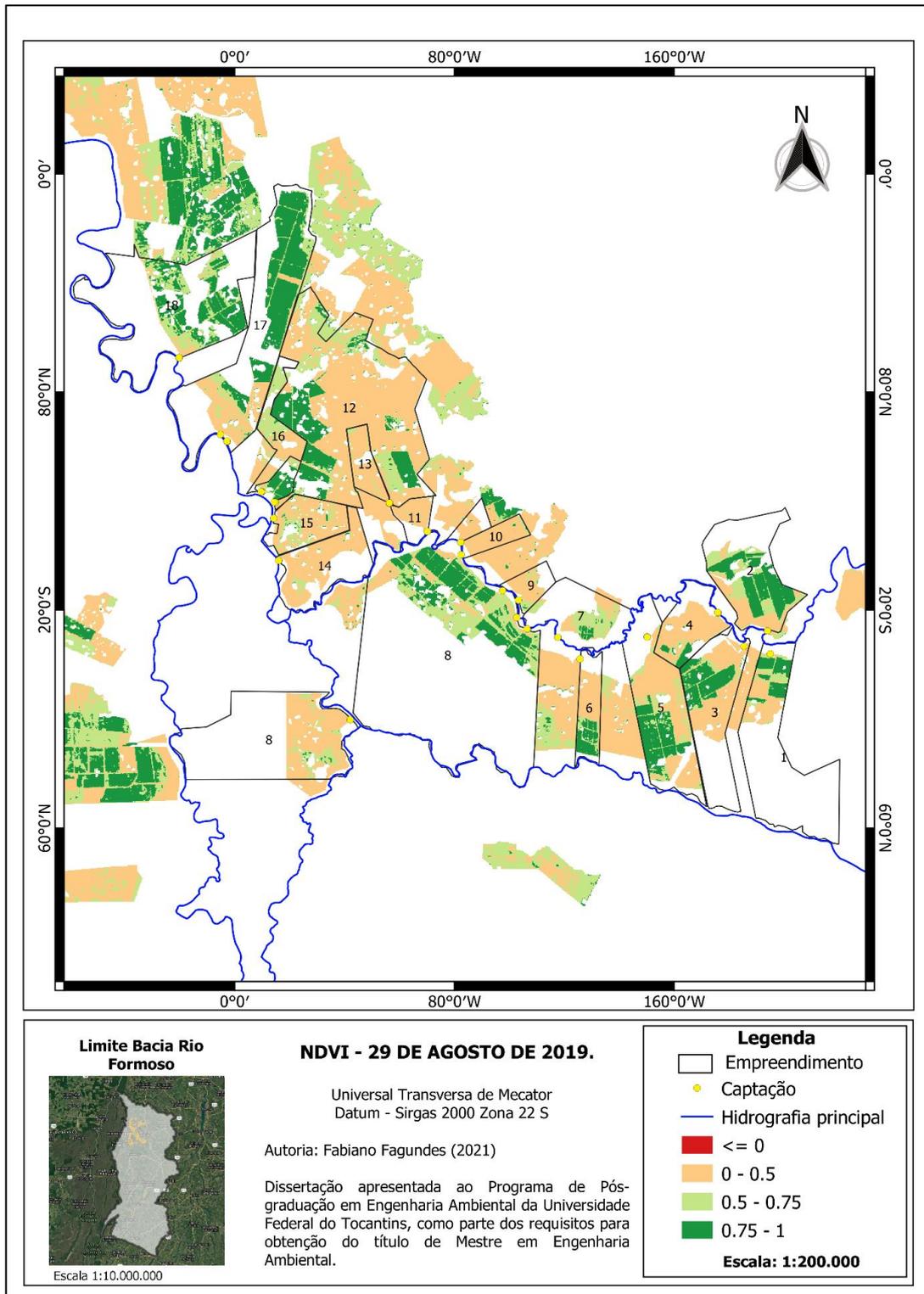
Figura 15 – Mapa NDVI, referente ao dia 13 de agosto de 2019.



No mapa da Figura 16 é importante observar que ainda há em alguns empreendimentos, a cultura da soja apresentando índice vegetativo acima de 0,75 para o dia 29 de agosto.

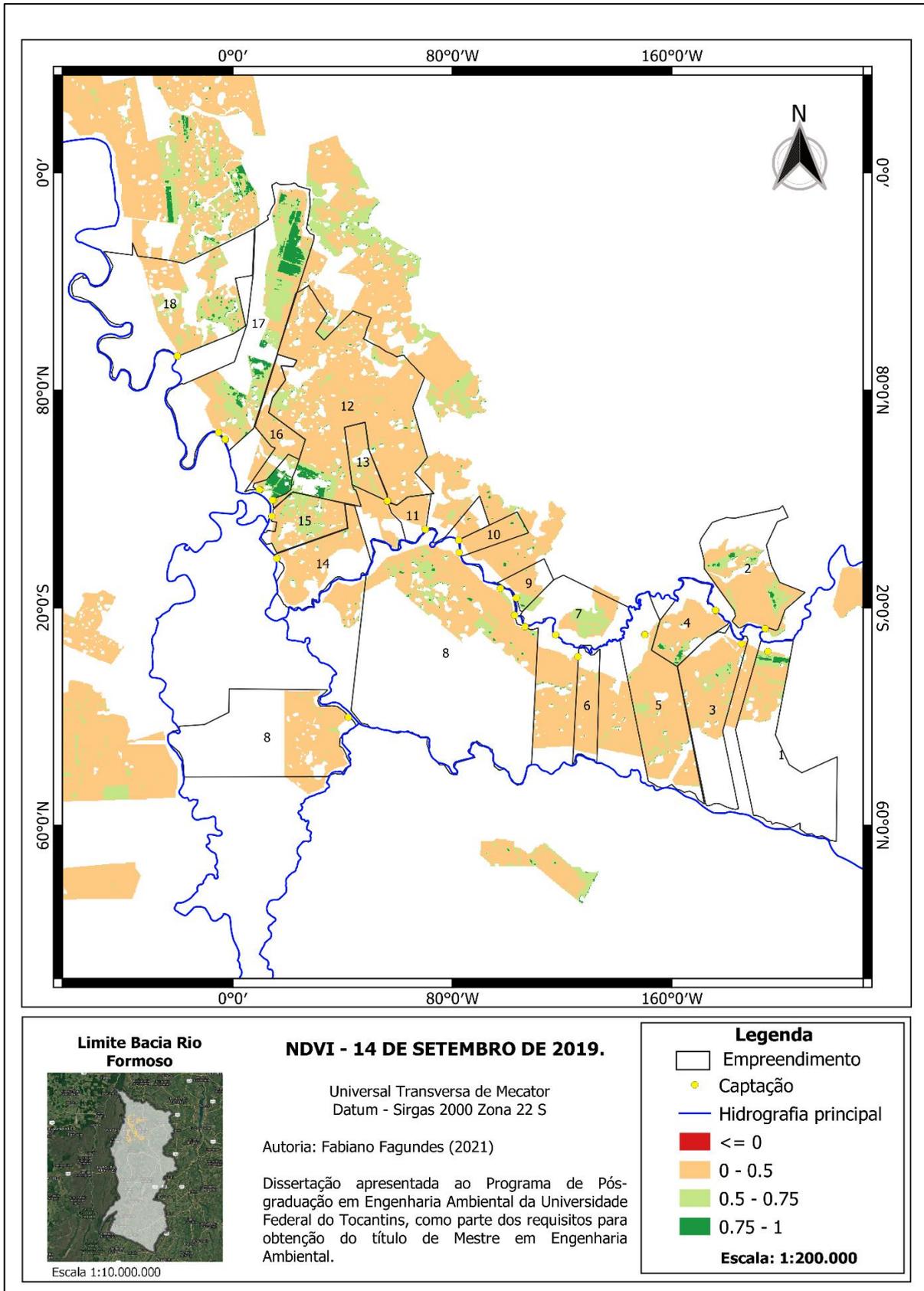
É notório que o cultivar, nessas condições, depende ainda de água para completar o seu ciclo fisiológico, porém torna-se interessante a análise de que não há prática de captação a partir de 30 de agosto nos dados do sistema GAN/IAC-UFT.

Figura 16 – Mapa NDVI, referente ao dia 29 de agosto de 2019.



Sequencialmente é apresentado o mapa na Figura 17 que demonstra quase que totalmente o terreno sem vegetação, para o dia 14 de setembro de 2019.

Figura 17 – Mapa NDVI, referente ao dia 14 de setembro de 2019.



Farias, et. al, (2007) apontam que a disponibilidade hídrica durante a estação de crescimento da soja é a principal limitadora do rendimento da cultura. Salientam que a água constitui 90 % do peso da planta, e colocam que a disponibilidade de água é importante, principalmente em dois períodos de desenvolvimento, germinação e floração, necessitando neste último de 7 mm dia<sup>-1</sup> a 8 mm dia<sup>-1</sup>. Em geral, o consumo mais elevado de água coincide com o período em que a cultura de soja apresenta maiores alturas e índices vegetativos.

Com o uso do NDVI pode-se confrontar as informações do questionário de visitas a campo sobre o período entre plantio e colheita dos empreendimentos produtores de soja. Desse modo foi possível identificar os empreendimentos que praticam o cultivo e, conseqüentemente a irrigação de forma tardia, ou seja, indo até os últimos dias do mês de agosto com a captação de água, podendo acarretar em insegurança hídrica para a região da bacia hidrográfica do rio Formoso, o que por especialistas, é apontado como prejudicial à própria safra, como também, tornando-se de alto risco ao meio ambiente e à sustentabilidade da região, visto que a escassez hídrica se se torna crítica a partir do mês de agosto.

Na Tabela 17, é apresentado um ordenamento dos empreendimentos que mais tardiamente mantiveram percentuais de seus cultivos em processo de irrigação, conseqüentemente com índices vegetativos elevados nos meses de julho e agosto de 2019.

Tabela 17 – Percentuais para os meses críticos do índice vegetativo acima de 0,75.

ID	Empreendimento	% NDVI > 0,75 a 1,00		
		28/jul.	13/ago.	29/ago.
1	17	81	75	57
2	18	88	79	48
3	3	98	72	39
4	2	90	31	38
5	6	100	42	29
6	8	85	79	27
7	5	95	62	27
8	12	96	88	26
9	1	70	21	17
10	4	87	49	10
11	7	22	20	5
12	15	94	15	3
13	10	88	3	3
14	9	18	2	2
15	14	83	21	1
16	16	97	70	1
17	13	82	12	1
18	11	93	0	0
<b>% área irrigada</b>		<b>81</b>	<b>46</b>	<b>21</b>

Fonte: Autor (2021).

O aspecto mais relevante a se considerar nos dados da tabela 17, é o fato de ainda se ter em 29 de agosto um valor aproximado de 21 % do total da área irrigada (3.665 ha) com índice vegetativo  $> 0,75$  (NDVI), fase em que a cultura, como citado por Farias, et al (2007), é dependente de um fluxo elevado de irrigação para o desempenho da planta.

O empreendimento 17, é o que tem o percentual mais elevado do índice vegetativo em 29 de agosto, demonstrando ter percentual acima da metade de seu cultivo ainda por colher.

Porém em relação às captações, essas não se efetivaram no mês de setembro. Essa possibilidade de irrigação em setembro, pra esse empreendimento pode ocorrer por outros meios, como por infiltração de água de um lago que se encontra muito próximo da propriedade, à noroeste, na propriedade vizinha. Possivelmente também pela captação de água por bombeamento a partir desse lago.

A escolha pelo ciclo tardio talvez se explica para alguns empreendedores, conforme as alegações de Verneti Junior (2010), que justifica a utilização de cultivares de diferentes Grupos de Maturação (GM) pois essa prática beneficia o produtor, amplia os períodos críticos da cultura (floração e formação/enchimento de grãos). Aponta ainda que essa estratégia visa oferecer maior segurança contra adversidades climáticas durante o período em que a cultura está no campo, permitindo também um melhor aproveitamento das colheiteiras, pelo escalonamento da maturação.

Verneti Junior (2010) cita que as sementes com ciclo tardio apresentam boa altura de planta em qualquer época do ano. Pelo seu exuberante desenvolvimento vegetativo, permite boas colheitas mesmo com baixas densidades de sementeira. Também são utilizadas quando se propõe uma segunda cultura em sucessão a cultivos precoces.

Contudo, o que é bom para o produtor nem sempre é o ideal para o meio ambiente. Deve haver um equilíbrio entre as ações de produtividade aliadas à sustentabilidade, nesse âmbito é importante abordar que em análise as imagens NDVI, observa-se a prática de plantio ainda no início do mês de junho de 2019 por parte de alguns empreendimentos.

Os empreendimentos 6, 8 e 3 praticaram o cultivo de soja utilizando de um período mais longo que os demais empreendimentos, finalizando a irrigação nos dias 23, 27 e 30 de agosto respectivamente. Entretanto, não é possível afirmar que os empreendimentos 9, 17, 1, 10, 18, 4 e 2 fizeram uso do ciclo tardio, porém finalizaram a irrigação entre os dias 22 e 30 de agosto.

Pode-se destacar que os empreendimentos 3, 2, 9 e 4 somente iniciaram o período de irrigação em 27, 23, 23 e 22 de junho respectivamente. Essa prática pode ser avaliada como uso da água de forma menos produtiva, havendo assim, maiores perdas de água para a atmosfera, na forma de evaporação, devido as condições meteorológicas reinantes na região.

## 5 CONCLUSÃO

Esta dissertação apresentou uma proposta de análise do consumo de água em relação a produção de soja semente na bacia hidrográfica do rio Formoso em que são contemplados vários produtores, entre esses, fez-se a avaliação de dezoito empreendimentos das quais buscou-se informações tecnológicas de ponta, nunca antes empregadas no Tocantins, referindo-se ao monitoramento em tempo real por parte do sistema GAN/IAC – UFT.

Na esfera do georreferenciamento, mensurou-se canais e áreas realmente utilizadas para irrigação, ação necessária para validação do sistema, visto que, por mais que se tenha dados registrados em cadastros como o CAR ou SIG-CAR de esfera estadual e federal, nem sempre o produtor respeitará as fronteiras de suas áreas consolidadas, como de fato observado nesse estudo, assim como também tiveram produtores que não fizeram uso da totalidade de suas áreas disponíveis para o cultivo. Dessa forma, o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada foi crucial para determinar os coeficientes elaborados.

Nesse aspecto, os dados desta dissertação apontam que empreendimentos distintos, mantendo produtividades semelhantes, conseguem concluir o cultivo da soja no mês de julho ou na primeira quinzena de agosto, seja com variações de cultivos de ciclo curto, médio ou longo, a considerar sempre como fator preponderante a “insegurança hídrica”.

Cabe observar os parâmetros analisados, com ênfase principalmente nos coeficientes encontrados, demonstrando que, em se tratando da mesma região, mesma cultura, do mesmo método de irrigação, usando basicamente os mesmos equipamentos, há disparidades de valores em relação a produtividade da água.

Há de se frisar que para se chegar nos objetivos propostos para este trabalho, houveram contratemplos. Parte das informações do sistema não puderam ser aproveitadas, uma parcela de dados ficou comprometida pela falta de manutenção do sistema de envio de informações implantado na captação da água. Caso em que se houvessem mais dados consistentes disponíveis para alimentação dos índices da pesquisa, maior qualidade estatística seria inserida nos coeficientes elaborados.

Como resultados, pode-se influir que 72 % dos empreendimentos praticaram irrigação após a segunda quinzena do mês de agosto, considerado por especialistas como fato crítico às condições da bacia hidrográfica do rio Formoso, assim como é apontado disparidades em relação aos dias de captação, apresentando variação de 335 %.

Na verificação da lâmina líquida de irrigação para a produção da soja houve diferença de 839 % entre o menor e o maior valor de captação e quanto aos coeficientes foi possível

apontar uma variação de: 859 % para o volume de água captada pela produção estimada (Coeficiente 1), 927 % para o volume de água captada pela área irrigada (Coeficiente 2), 552 % para a extensão de canais pela área irrigada (Coeficiente 3), e 3.000 % para o volume de água captada por extensão de canais (Coeficiente 4).

Como o estudo aplicado para esta dissertação foi limitado à dezoito empreendimentos e aos parâmetros anteriormente citados, conclui-se que a produtividade da água é relativa, não cabendo afirmar que os melhores índices dos coeficientes apontados demonstram maior produtividade da água ou não. Devendo ainda observar outros fatores que interferem diretamente na produtividade da água, como as propriedades de permeabilidade do tipo de solo das lavouras e dos canais, as dimensões dos canais, suas respectivas declividades, altimetrias e sua possível erodibilidade, a taxa de evaporação das lâminas d'água, o tipo de manejo do uso da água, entre outros.

Por fim, cabe aos atores envolvidos e a sociedade a análise dos dados elaborados por esta dissertação, avaliando o uso dos recursos hídricos de forma mais eficiente com olhar para o futuro, auxiliando-os em discussões para o benefício da região, assim como na tomada de decisões, com preocupação com o meio ambiente e, ao mesmo tempo, a sobrevivência dos cultivos irrigados dessa região.

Para futuros estudos, sugere-se uma análise aprofundada das demais safras, sejam dos anos antecedentes à 2019, assim como compreendendo também o ano de 2020 e os posteriores. Outra proposta, seria a análise incluindo mais parâmetros a se investigar, incluindo tipologia do solo, geometria dos canais de irrigação, cota dos canais em relação ao terreno de plantio, as influências climáticas, análise por tipo de semente.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRASS. **O Setor de Sementes de Soja**. Disponível em: <<http://www.abrass.com.br/semente-de-soja/>>. Acesso em: 24 nov. 2020.

ALMEIDA, R. D.; PELUZIO, J. M.; AFFÉRI, F. S. **Divergência genética entre cultivares de soja, sob condições de várzea irrigada, no sul do Estado Tocantins**. Revista Ciência Agronômica, v. 42, n. 1, p. 108-115, Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

ALVARENGA, A. S.; MORAES, M. F. **Processamento digital de imagens LANDSAT – 8 para obtenção dos índices de vegetação NDVI e SAVI visando a caracterização da cobertura vegetal no município de Nova Lima – MG**. MundoGeo, Curitiba, 2014.

ANDRADE, C. de L. T. de; BRITO, R. A. L. **Métodos de irrigação**. Embrapa, 2006.

Disponível em:

<<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG017216820051120.html>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

ARAÚJO, J. C.; VETTORAZZI, C. A.; MOLIN, J. P. **Estimativa da produtividade e determinação de zonas de manejo, em culturas de grãos, por meio de videografia aérea multiespectral**. Acta Sci. Agron. v. 27, n. 3, p. 437-447, Maringá, 2005.

ARRUDA, T. J.; VALDEVINO A. F. **O polo agropecuário de Formoso do Araguaia/TO e sua relação espacial com os estados vizinhos**. Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional G&DR v. 10, n. 4, p. 362-386, Taubaté -SP, 2014.

BRASIL. Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília: ANA, 2017.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2018: informe anual**. Brasília: ANA, 2018.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Águas. **Sistema de Informações Hidrológicas**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/informacoeshidrologicas/redehidro.aspx>>. Acesso em: 1 jul. 2020.

\_\_\_\_\_. Agência Nacional de Águas. **UGRH Paranapanema. Balanço hídrico quantitativo oferta-demanda**. Brasília – DF, 2014.

\_\_\_\_\_. Lei nº 9.433/97 – **Política Nacional de Recursos Hídricos**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/Institucional/Legislacao/leis/lei9433.pdf>>. Acesso em: 26/08/2020.

COELHO, E. F.; SILVA, A. J. P.; **Manejo, eficiência e uso da água em sistemas de irrigação**. Mandioca e Fruticultura – Embrapa. Cruz das Almas, 2013.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 6 - Safra 2018/19, n.7 - Sétimo levantamento. Brasília, abril, 2019.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 7 - Safra 2019/20, n.4 - Quarto levantamento. Brasília, janeiro, 2020.

CORREA E SILVA, R. C.; MARTINS, A. K. E. **O uso de imagens CBERS-2 para quantificar e qualificar áreas degradadas no Projeto Rio Formoso no município de Formoso do Araguaia – TO.** Universidade Federal do Tocantins – UFT e Universidade do Tocantins – UNITINS, Palmas, 2004.

CUNHA, G. R. DA; SANTI, A.; PASINATO, A.; DALMAGO, G. A.; PIRES, J. L. F.; GOUVÊA, J. A. DE. **Gestão da produtividade da água em agricultura: o desafio de elevar o rendimento dos cultivos em ambientes com restrição hídrica.** Revista Plantio Direto – ed. 144, 2014.

DOORENBOS, J., KASSAM, A.H.; **Yield response to water.** Irrigation & Drainage Paper n°. 33. FAO, Roma. 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 1979. 83p.

\_\_\_\_\_. **Soja em números (Safrá 2018/2019).** Brasília, 2019.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations; **Respuesta del rendimiento de los cultivos al agua.** Estudio FAO: riego y drenaje. 66, PDF, 530p. Roma, Itália, 2014.

FARENCENA, J. C. **Análise da subirrigação em várzeas tropicais.** Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental), IPH - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 95p. Porto Alegre, 2011.

FARIAS, J. R. B., NEPOMUCENO, A. L., NEUMAIER, N. **Ecofisiologia da soja.** Circular técnica 48 – Embrapa, Londrina, 2007.

FARMNEWS. **O Farmnews apresenta a média de produtividade da soja entre os principais países produtores na safra 2018/19.**

<<http://www.farmnews.com.br/gestao/produtividade-da-soja-4/>> Acesso em 28/12/2020.

FILHO, L. N. L. M.; FILHO, G. M. M.; FIGUEIROA, F. E. V.; REZENDE, C. S. A.; OLIVEIRA, L. M.; MACIEL, G. F.; CATALUNHA, M. J. **Comparação de modelos de cobrança pelo uso da água: Uma abordagem entre exemplos europeus, do Brasil e sugestões para implementação na bacia do Rio Formoso TO.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos - Água, Desenvolvimento Econômico e Socioambiental, Bento Gonçalves - RS, nov. 2013.

FRANKE, A. E. **Necessidade de irrigação suplementar em soja nas condições edafoclimáticas do Planalto Médio e Missões, RS.** Pesq. Agropec. Bras. Vol.35 n.8 Brasília, Ago. 2000.

FRIZZONE, J. A. **Os Métodos de irrigação.** ESALQ/USP – Departamento de Engenharia de Biosistemas. Piracicaba, 2017. Disponível em:

<<http://www.leb.esalq.usp.br/leb/disciplinas/Frizzone/leb>>. Acesso em: 11 jan. 2021.

GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; BREUNIG, F. M. **Relações entre índices de vegetação e produtividade de soja com dados de visada fora do nadir do sensor Hyperion/EO-1.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - INPE, p. 1095-1102. Natal, 2009.

GETIRANA, A. C. V.; **Análise de soluções de conflitos pelo uso da água no setor agrícola através de técnicas de programação linear**. Engenharia Civil, COPPE/UFRJ, 2005.

GOIÁS. Assembleia Legislativa do Estado de Goiás. Lei nº 3.746 de 27 de novembro de 1979.

GOIÁS. Delegacia Federal de Agricultura. **Projeto Rio Formoso**: estudo técnico-financeiro. Goiás: DFA, 1980.

GRASER, A.; CUTTS, A. **Learn QGIS**. ed.4, p. 272, 2018.

IAC – INSTITUTO DE ATENÇÃO ÀS CIDADES / UFT, **Relatório Fase B**. Palmas, 2017.

IBGE. **Censo demográfico**. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/default.shtm>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

INMET. **Estações automáticas**. Disponível em:

<<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em: 1 ago. 2020.

INPE. **Dados de satélite** - Catálogo de imagens Disponível em:

<<http://satelite.cptec.inpe.br/home/novosite/index.jsp>>. Acesso em: 28 out. 2020.

IPCC. **Climate change 2014 synthesis report summary for policymakers**. Disponível em:

< <http://www.ipcc.ch/>> Acesso em: 1 jun. 2020.

JÚNIOR, S. N. **Avaliação ambiental estratégica do conjunto de projetos hidro agrícolas da planície do Araguaia, estado do Tocantins**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Palmas - TO, 2005.

KE, Y.; IMB, J.; LEE, J.; GONG, H.; RYU, Y. **Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations**. Elsevier, 2015.

KUSS, R. C. R. **Populações de plantas e estratégias de irrigação na cultura da soja**. Dissertação de Mestrado/Universidade Federal de Santa Maria – Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo. Santa Maria – RS, 2006

LABHID (Laboratório de Hidrologia e Estudos do Meio Ambiente da COPPE/UFRJ), **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul**. In: Projeto Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul (PGRHRE-09-R0), Fundação COPPETEC/ANA, Rio de Janeiro, 2002.

LATRUBESSE, E. M.; STEVAUX, J. C. **Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin**. Brazil. Zeitschrift für Geomorphologie. p. 129, 109 e 127, 2002.

LIMA, L. E. P. DE; JUSTINA, D. D. D.; PRUDENTE, V. R.; MERCANTE, E.; URIBE-OPAZO, M. A. **Estimativa de área plantada com soja por meio de processamento digital de imagens do satélite Landsat 5/TM**. CONBEA, ed. XL, Cuiabá – MT, 2011.

MAPA. **Safras e Estoques**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/safras-estoques>>. Acesso em: 11 mai. 2020.

MARINHO FILHO, G. M.; MACIEL, G. F.; DIA S, R. R.; MAGALHÃES FILHO, L. N. L.; REZENDE, C. S. A.; FIGUEROA, F. E. V.; OLIVEIRA, L. M. **Avaliação de Características Morfométricas da Bacia Hidrográfica do Rio Formoso-TO**. Revista de Ciências Ambientais, Canoas, v.7, n 1, p.37 a 48, 2013.

MARTINS, A. K. E. **Ipucas da planície do Araguaia, estado do Tocantins: ambiente físico de ocorrências, solos e uso da terra**. Viçosa: UFV, 2004.

MEDEIROS, A. M. P.; RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E. **Imagens Landsat na estimativa de áreas de cana-de-açúcar, milho e soja**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 8, Salvador, 1996. Anais. São José dos Campos: INPE, 1996.

MENGUE, V. P.; FONTANA, D. C. **Avaliação da dinâmica espectro-temporal visando o mapeamento dos principais cultivos de verão no Rio Grande do Sul**. Bragantia, UFRGS, Porto Alegre – RS, 2015.

MMA. **Plano Nacional de Recursos Hídricos 2006**. Disponível em:  
<<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/plano-nacional-de-recursos-hidricos>>  
Acesso em: 1 abr. 2020.

MONTEITH, J.L. **The quest for balance in crop modelling**. Agron. Journal. 88:695–697. 1996.

NAMIKAWA, L. M. **Imagens Landsat 8 para monitoramento de volume de água em reservatórios: estudo de caso nas barragens Jaguari e Jacareí do Sistema Cantareira**. São José dos Campos: INPE, 2015.

NASCIMENTO, O. **Projeto Rio Formoso Irrigação - Estudo técnico financeiro**. v 1, 162p, Secretaria do Planejamento e Coordenação do Estado de Goiás, Goiânia, 1980.

\_\_\_\_\_. **Projeto Rio Formoso Irrigação - Estudo de solos**. v 2, 112p, Secretaria do Planejamento e Coordenação do Estado de Goiás, Goiânia, 1980.

\_\_\_\_\_. **Projeto Rio Formoso Irrigação - Desenhos e Plantas**. v 4, 54p, Secretaria do Planejamento e Coordenação do Estado de Goiás, Goiânia, 1980.

NASSIF, D.S.P.; **Parametrização e avaliação do modelo DSSAT/CANEGRO para variedades brasileiras de cana-de-açúcar**. Dissertação (Mestrado em Física do Ambiente) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 92 p. Piracicaba, 2010.

OLIVEIRA FILHO, J. C.; PINTO, E. S.; SABOYA, L. M. F.; PERON, A. J.; CAETANO, G. F. **Caracterização do regime pluviométrico da região do projeto Rio Formoso na bacia do Araguaia, TO, Brasil**. ACT Amazônia, 31 (2); 221-226, 2001.

PAYERO, J. O.; IRMAK, S. **Daily energy fluxes, evapotranspiration and crop coefficient of soybean**. Biological Systems Engineering Department, University of Nebraska, NE, USA, 2013.

POZZEBON, E. J.; CUNHA, P.; CAVALCANTE, A. C.; CARRARI, E.; SILVA, L. M. C. DA. **Demanda hídrica para agricultura irrigada e sua influência nas análises de pedidos de outorga de direito de uso da água**. XV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2003.

REIS, A. F. de B. **Rice performance, water and nitrogen efficiency in different irrigation regimes in tropical lowland**. 2017. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2017. doi:10.11606/T.11.2017.tde-02102017-095946. Acesso em: 02 mar. 2020.

REIS, F. C. dos. **Estudo de uma proposta de vazão de referência Q90 para o rio Formoso na Bacia do Araguaia**. Monografia de graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Tocantins, Palmas, p. 53. 2010.

ROCKSTRÖM, J.; KARLBERG, L.; WANI, S. P.; BARRON, J.; HATIBU, N. **Managing water in rainfed agriculture** - The need for a paradigm shift. Elsevier, 2009.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In Earth Resources Technology Satellite- 1 Symposium,3, 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec. A, p. 309-317.

SANDER, J. Z.; WIM, G. M. B. **Review of measured crop water productivity values for irrigated wheat, rice, cotton and maize**. Agricultural Water Management, Water Watch, Gen. Foulkesweg 28, Elsevier, p. 115-133, 2004.

SANTOS, C. L. dos; REIS, A. F. de B; MAZZAFERA, P; FAVARIN, J. L. **Determination of the water potential threshold at which rice growth is impacted**. 2018. Disponível em: <<https://dx.doi.org/10.3390/plants7030048>>. Acesso em 22 de fev. 2021.

SANTOS, D; UMMUS, M. E. **Formas de uso mais eficiente da água pela agricultura**. Informativo técnico nº 9 - Fronteira Agrícola, Palmas. 2015. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1039319/1/CNPASA2015fa9.pdf>>. Acesso em 30 de mar. 2021.

SCARPARE, F.V.; **Simulação do crescimento da cana-de-açúcar pelo modelo agro hidrológico SWAP/WOFOST**. Tese (Doutorado em Física do ambiente agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 164 p. Piracicaba, 2011.

SEINF, Secretaria de Recursos da Infra Estrutura. **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do Tocantins**. Palmas, Tocantins, 2009, 251p.

SEMADES/TO. **Elaboração do plano estadual de recursos hídricos do Tocantins**. Consorcio COBRAPE, OIKOS e PCI, 208p., 2011. Disponível em: <<http://semades.to.gov.br/conteudo/plano-estadual-de-recursos-hidricos/9>>. Acesso em: 18 jun. 2020.

SEMARH/TO. **Plano de bacia hidrográfica do Rio Formoso** - PHB Rio Formoso, no estado do Tocantins. Relatório Síntese. Consórcio Magma Eng. Ltda e ACL, p. 67, 2007.

SENAR. **Grãos: classificação de soja e milho**. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Brasília, 2017.

SENAR. **Irrigação: gestão de sistemas por superfície**. Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. Brasília, 2020.

SILVA, A. J. R. **Sensoriamento remoto como subsídio para a gestão agrícola: Estudo de caso do Projeto de Irrigação Rio Formoso.** Formoso do Araguaia - TO. Dissertação, IFG. GO, 2015.

SILVA, R. A. **Impacto das mudanças climáticas sobre a produtividade e pegada hídrica da soja cultivada na região do Matopiba.** Tese, UFCG – Campina Grande, 2018.

SOLDEIRA, B. **Como a agricultura pode ser mais eficiente no uso da água?** ago,2020<<https://www.aguasustentavel.org.br/blog/76-como-a-agricultura-pode-ser-mais-eficiente-no-uso-da-agua>> Acesso em 11/01/2021.

STEWART, B.A.; LAL, R. **Increasing World Average Yields of Cereal Crops: It's All About Water.** Elsevier - Advances in Agronomy, v 151, 2018.

TALISMÃ. **Talismã Sementes.** Disponível em: <<http://www.talisma.agr.br/>>. Acesso em: 1 jun. 2020.

TUCCI, C. E. M. **Desenvolvimento dos recursos hídricos no Brasil.** Global Water Partnership, 2004.

VALENTE, C. R.; LATRUBESSE, E. M.; FERREIRA, L. G. **Relationships among vegetation, geomorphology and hydrology in the Bananal Island tropical wetlands, Araguaia River basin, Central Brazil.** Journal of South American Earth Sciences, v 46, p 150 a 160, 2013.

VALENTE, C. R.; LATRUBESSE, E. M. **Fluvial archive of peculiar avulsive fluvial patterns in the largest Quaternary intracratonic basin of tropical South America: The Bananal Basin, Central-Brazil.** Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, p. 62 a 74, 2012

VERGARA, F. E.; REIS, F. C. dos; MAGALHÃES FILHO, L. N. L.; REZENDE, C. da S. A. **Proposta de vazão de referência Q<sub>90</sub> para o Rio Formoso na bacia do Araguaia.** Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia. Espírito Santo do Pinhal - SP. v. 10, n. 1, p. 084 102. 2013.

VERNETTI JUNIOR, F.J.; THEISEN, G. **Soja: a importância das cultivares e do manejo da lavoura em ano de La Niña.** 2010. Artigo em Hipertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2010\\_4/soja/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2010_4/soja/index.htm)>. Acesso em: 3/4/2021.

WAKIM, V. R.; VERGARA, F. E.; MAGALHÃES, E. A. **O uso do método dose-resposta na mensuração de impactos na lucratividade da produção de arroz irrigado na microrregião de Formoso do Araguaia no estado do Tocantins.** Revista em Agronegócios e Meio Ambiente, v.5, n. Edição Especial, p. 103-133, out. 2012.