

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO PROFISSIONAL**

JOÃO GABRIEL DA COSTA BERTOLI

**LEVANTAMENTO DA AGRICULTURA IRRIGADA POR PIVÔS CENTRAIS E A
GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE
RECURSOS HÍDRICOS DO MÉDIO PARANAPANEMA (UGRHI 17)**

PRESIDENTE PRUDENTE – SP

2021

JOÃO GABRIEL DA COSTA BERTOLI

**LEVANTAMENTO DA AGRICULTURA IRRIGADA POR PIVÔS CENTRAIS E A
GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE
RECURSOS HÍDRICOS DO MÉDIO PARANAPANEMA (UGRHI 17)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado Profissional, da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – câmpus de Presidente Prudente, como requisito para obtenção do título de Mestre em Geografia – Área de concentração em Recursos Hídricos e Meio Ambiente.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Cristina Rizk

PRESIDENTE PRUDENTE – SP

2021

B546l	<p>Bertoli, João Gabriel da Costa</p> <p>Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais e a gestão de recursos hídricos na unidade de gerenciamento de recursos hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI 17) / João Gabriel da Costa Bertoli. -- Presidente Prudente, 2021</p> <p>110 f.</p> <p>Dissertação (Mestrado) - Programa de Mestrado Profissional em Educação Física em Rede Nacional - ProEF da Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente</p> <p>Orientador: Maria Cristina Rizk</p> <p>1. Pivôs Centrais. 2. UGRHI 17. 3. Sensoriamento Remoto. 4. Recursos Hídricos. 5. Irrigação. I. Título.</p>
-------	---

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências e Tecnologia,
Presidente Prudente. Dados fornecidos pelo autor(s).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Presidente Prudente

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: LEVANTAMENTO DA AGRICULTURA IRRIGADA POR PIVÔS CENTRAIS E A GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NA UNIDADE DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO MÉDIO PARANAPANEMA (UGRHI 17)

AUTOR: JOÃO GABRIEL DA COSTA BERTOLI

ORIENTADORA: MARIA CRISTINA RIZK

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em GEOGRAFIA, área: Recursos Hídricos e Meio Ambiente pela Comissão Examinadora:

Profa. Dra. MARIA CRISTINA RIZK (Participação Virtual)
Departamento de Planejamento, Urbanismo e Ambiente / Unesp/FCT - Câmpus de Presidente Prudente

Prof. Dr. ANTONIO CEZAR LEAL (Participação Virtual)
Departamento de Geografia / Unesp/FCT - Câmpus de Presidente Prudente

Prof. Dr. EMÍLIO CARLOS PRANDI (Participação Virtual)
Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE - Marília/SP

Presidente Prudente, 25 de junho de 2021

Dedico esse trabalho ao meu filho Pedro que em minha vida é esperança e perspectiva de um futuro melhor.

AGRADECIMENTOS

Durante uma aula do programa de pós-graduação notei que todas mulheres, ao se apresentarem, incluíam a palavra MÃE como cargo de ocupação em seu currículo profissional e nenhum homem fazia o mesmo com a palavra PAI. Dessa forma, início agradecendo a minha esposa e MÃE do meu filho, Luciana Pilan Bertoli, metade do que está aqui é também de seu mérito, uma vez que me deu todo apoio para que eu pudesse desenvolver a dissertação.

Agradeço ao meu filho Pedro por ter sido minha fonte de motivação para elaboração da pesquisa.

Agradeço a meus pais Marcos e Sandra pela base dada desde cedo e educação necessária, mesmo com tantas dificuldades, para que seu filho pudesse lutar pelo título de Mestre.

Agradeço também a minha orientadora Profa. Dra. Maria Cristina Rizk que soube direcionar minhas vivências em gestão de recursos hídricos e transformá-las nessa pesquisa que vos segue.

E por último, em tempos turbulentos, se faz necessário o agradecimento a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual Paulista – UNESP, câmpus de Presidente Prudente, de maneira a valorizar a produção de científica e as instituições públicas de ensino.

A todos, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

No Brasil, o equipamento de irrigação mais utilizado é o pivô central, sendo o estado de São Paulo o quarto com maior quantidade de pivôs centrais instalados no país. Diretamente proporcional à expansão da agricultura irrigada é o aumento da demanda de água para irrigação. Atualmente, não existem estudos que tratam da expansão da agricultura irrigada na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Médio Paranapanema (UGRHI 17). Assim, o objetivo do estudo foi mapear e quantificar os pivôs centrais existentes no território da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema de forma a subsidiar a definição de estratégias que envolvam a agricultura irrigada e a gestão de recursos hídricos na UGRHI 17. O mapeamento foi feito utilizando sensoriamento remoto e bases cartográficas para os anos de 1985, 1990, 2000, 2005, 2010, 2014 e 2017. Para o ano de 2019, foi elaborado um mosaico formado com imagens do satélite Sentinel 2B. Foram identificados 245 pivôs centrais na UGRHI 17, com uma área irrigada de 12.914,28 ha. Os pivôs centrais se mostraram presentes em 31 (56,36%) dos 55 municípios com área no território da UGRHI 17. Os municípios de Avaré (11,83%), Maracaí (7,75%), Santa Cruz do Rio Pardo (7,34%) e Cândido Mota (6,93%) apresentaram, respectivamente, o maior número de pivôs centrais. Os municípios com maior área irrigada foram, em ordem decrescente, Avaré (10,52%), Cândido Mota (8,60%), Maracaí (7,69%) e Santa Cruz do Rio Pardo (7,68%), podendo ser considerados polos de irrigação na UGRHI 17. Os pivôs centrais são considerados equipamentos de alta eficiência, porém podem causar impactos ambientais significativos como redução da disponibilidade hídrica, eutrofização de corpos hídricos e salinização do solo. Portanto, se faz necessário um rigor no manejo dos pivôs centrais por parte dos usuários e melhorias dos instrumentos de gestão de recursos hídricos por parte dos órgãos de fiscalização e controle. O sensoriamento remoto aplicado ao acompanhamento da evolução espaço-temporal de pivôs centrais na UGRHI se mostrou de fundamental importância para a proposição de soluções para a adequada gestão de recursos hídricos na área estudada.

Palavras-chave: Pivôs Centrais. UGRHI 17. Sensoriamento Remoto. Recursos Hídricos.

ABSTRACT

In Brazil, the most used irrigation equipment is the center pivot, and the state of São Paulo is the fourth with the highest number of center pivots installed in the country. Directly proportional to the expansion of irrigated agriculture is the increased demand for irrigation water. Currently, there are no studies dealing with the expansion of irrigated agriculture in the Water Resources Management Unit (UGRHI) of Médio Paranapanema (UGRHI 17). Thus, the objective of the study was to map and quantify the existing center pivots in the territory of the Médio Paranapanema Water Resources Management Unit in order to support the definition of strategies involving irrigated agriculture and water resources management in the UGRHI 17. The mapping was done using remote sensing and cartographic bases for the years 1985, 1990, 2000, 2005, 2010, 2014 and 2017. For the year 2019, a mosaic was created using images from the Sentinel 2B satellite. It was identified 245 center pivots at UGRHI 17, with an irrigated area of 12,914.28 ha. The center pivots were present in 31 (56.36%) of the 55 municipalities with an area in the territory of the UGRHI 17. The municipalities of Avaré (11.83%), Maracaí (7.75%), Santa Cruz do Rio Pardo (7.34%) and Cândido Mota (6.93%) had, respectively, the highest number of center pivots. The municipalities with the largest irrigated area were, in descending order, Avaré (10.52%), Cândido Mota (8.60%), Maracaí (7.69%) and Santa Cruz do Rio Pardo (7.68%) that can be considered irrigation poles in the UGRHI 17. The center pivots are considered highly efficient equipment, but they can cause significant environmental impacts such as reduced water availability, eutrophication of water bodies and soil salinization. Therefore, it is necessary a rigor in the management of the central pivots by the users and improvements in the water resources management instruments by the inspection and control bodies. Remote sensing applied to the monitoring of the spatiotemporal evolution of the central pivots at the UGRHI proved to be of fundamental importance for proposing solutions for the proper management of water resources in the studied area.

Keywords: Center Pivots. UGRHI 17. Remote Sensing. Water Resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Pivô central no território da UGRHI 17.....	27
Figura 2 - Padrão circular do pivô central.....	33
Figura 3 - Pivôs com formas irregulares ou geometrias semicirculares.	36
Figura 4 - Fluxograma do processo de delimitação da área de estudo.	38
Figura 5 - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.....	39
Figura 6 - Fluxograma do processo de geoprocessamento dos pivôs centrais de 1985 a 2017 na UGRHI 17.	42
Figura 7 - Composição colorida com as bandas 4-3-2-8 do satélite SENTINEL 2B.	43
Figura 8 - Fluxograma do processo do tratamento de imagens do satélite Sentinel 2B para a UGRHI 17.	44
Figura 9 - Mapa de municípios integrantes e de área contida da UGRHI 17.....	47
Figura 10 - Mapa de classificação climática de Köppen na UGRHI 17.....	50
Figura 11 - Mapa Pedológico da UGRHI 17.....	52
Figura 12 - Mapa de Declividade da UGRHI 17.....	54
Figura 13 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra na UGRHI 17.	56
Figura 14 - Uso e cobertura da terra na UGRHI 17 no ano de 2019.	59
Figura 15 - Mapa de localização dos pivôs centrais no ano de 2000 na UGRHI 17.	60
Figura 16 - Mapa de localização dos pivôs centrais no ano de 2005 na UGRHI 17.	62
Figura 17 - Mapa de localização dos pivôs centrais no ano de 2010 na UGRHI 17.	64
Figura 18 - Mapa de localização dos pivôs centrais no ano de 2014 na UGRHI 17.	66
Figura 19 - Mapa de localização dos pivôs centrais no ano de 2017 na UGRHI 17.	68
Figura 20 - Mapa de imagens SENTINEL 2 B na UGRHI 17 em 2019.....	71
Figura 21 - Mapa de localização dos pivôs centrais no ano de 2019 na UGRHI 17.	72
Figura 22 - Evolução da área irrigada (ha) e número de pivôs centrais na UGRHI 17.	73
Figura 23 - Destaque dos municípios com território na UGRHI 17 com maior número de pivôs centrais.	75
Figura 24 - Destaque dos municípios com território na UGRHI 17 com maior área irrigada por pivôs centrais.	75
Figura 25 - Variação do tamanho dos pivôs centrais na UGRHI 17 em 2019.	76
Figura 26 - Pivôs centrais existentes em uma propriedade rural na UGRHI 17.	77
Figura 27 - Evolução da área irrigada por pivôs centrais em Santa Cruz do Rio Pardo – SP de acordo com a plataforma MAPBIOMAS.....	78

Figura 28 - Evolução da área irrigada em Santa Cruz do Rio Pardo – SP.....	79
Figura 29 - Área irrigada em Santa Cruz do Rio Pardo – SP (2019) no comparativo de metodologias de sensoriamento remoto.....	80
Figura 30 - Pivô central no município de Santa Cruz do Rio Pardo.....	80
Figura 31 - Mapa de pivôs centrais por Unidade de Planejamento Hídrico da UGRHI 17 em 2019.....	82
Figura 32 - Captação superficial em reservatório no município de Florínea.....	85
Figura 33 - Reservatório de irrigação no município de Florínea.....	85
Figura 34 - Reservatórios em série para irrigação em Florínea – SP.....	86
Figura 35 - Mapa de Unidades Aquíferas da UGRHI 17.....	88
Figura 36 - Cobertura da terra nos pivôs centrais da UGRHI 17 (2019).....	92
Figura 37 - Cobertura da terra por área irrigada na UGRHI 17 (2019).	92

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Demandas de água por tipo de uso.....	20
Quadro 2 - Usos preponderantes das águas à partir do seu enquadramento.	22
Quadro 3 - Coeficientes de uniformidade de distribuição de água em pivô central.....	29
Quadro 4 - Precipitação média de 2017 a 2019 na UGRHI 17.	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Uso e cobertura da terra na UGRHI 17 em 2019.....	58
Tabela 2 - Pivôs centrais na UGRHI 17 em 2000.	61
Tabela 3 - Pivôs centrais na UGRHI 17 em 2005.	63
Tabela 4 - Pivôs centrais na UGRHI 17 em 2010.	65
Tabela 5 - Pivôs centrais na UGRHI 17 em 2014.	67
Tabela 6 - Pivôs centrais na UGRHI 17 em 2017.	69
Tabela 7 - Pivôs centrais na UGRHI 17 em 2019.	70
Tabela 8 - Cobertura da terra por pivô central na UGRHI 17 no ano de 2019.	91

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
CBH	Comitê de Bacia Hidrográfica
CBH-MP	Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CPLA	Coordenadoria de Planejamento Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiental
CORHI	Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos
CPRM	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
CRH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
CUC	Coeficiente de Uniformidade de Christiansen
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESA	Agência Espacial Europeia
FEHIDRO	Fundo Estadual de Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
PEH	Política Estadual de Recursos Hídricos
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PROFIR	Programa de Financiamento de Equipamentos de Irrigação
PROINE	Programa de Irrigação do Nordeste
PRONI	Programa Nacional de Irrigação
UGRHI	Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos
UHE	Usina Hidroelétrica
UPH	Unidade de Planejamento de Recursos Hídricos
USGS	United States Geological Survey
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SIGEF	Sistema de Gestão Fundiária
SAA	Secretaria de Agricultura e Abastecimento
SMA	Secretaria do Meio Ambiente
SJDC	Secretaria da Justiça e da Defesa da Cidadania

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	18
2.1 Objetivo geral	18
2.2 Objetivos Específicos	18
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1 Gestão das Águas e Instrumentos de Gestão	19
3.2 Pivôs Centrais	26
3.3 Sensoriamento Remoto Aplicado a Pivôs Centrais	32
4 METODOLOGIA	38
4.1 Área de estudo	38
4.2 Caracterização do território na UGRHI 17.....	40
4.3 Mapeamento dos pivôs no território da UGRHI 17	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1 Diagnóstico ambiental da UGRHI 17	46
5.2 Mapeamento dos pivôs na UGRHI 17	59
5.3 Gestão de recursos hídricos e a expansão de pivôs centrais na UGRHI 17	96
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
7 REFERÊNCIAS.....	102

1 INTRODUÇÃO

A produção de alimentos depende fundamentalmente da disponibilidade de terras apropriadas para exploração agrícola e pecuária em boa quantidade e qualidade. Além da produção de alimentos, há necessidade de produção de fibras, madeiras, da preservação da vida selvagem e manutenção de florestas e ecossistemas específicos em diferentes pontos do planeta (SCOLARI, 2006).

A irrigação é uma técnica agrícola que, aliada a um conjunto de fatores, visa o aumento da produção agrícola. Utilizada desde civilizações antigas que se desenvolveram em regiões de clima árido, como Egito e Mesopotâmia, a irrigação corresponde ao uso de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as culturas em períodos críticos (ANA, 2019).

A agricultura irrigada pode possibilitar um aumento da produtividade de diversas culturas agrícolas sem o aumento da área cultivada, ou seja, se bem empregada pode reduzir expansão agrícola sobre áreas de vegetação natural. No caso do plantio de grãos (milho e soja), por exemplo, estima-se que a adoção da irrigação possa aumentar a produção entre 57% e 60%, respectivamente (LANDAU et al., 2014).

Dentre os fatores que podem estimular o emprego da irrigação citam-se a escassez de chuvas em períodos específicos, o aumento da produtividade, redução dos custos de produção, utilização do solo com rotação de cultura, padronização da produção, produção de culturas nobres, maior garantia de colheita, dentre outros.

No Brasil, o equipamento de irrigação mais utilizado é o pivô central (ANA, 2014), sendo o estado de São Paulo o quarto estado com a maior quantidade de pivôs centrais instalada no país. No estado de São Paulo, os pivôs centrais estão altamente concentrados na região do vale do Paranapanema, com destaque para a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Paranapanema (UGRHI 14) onde ficam localizados os municípios de Itaí e Paranapanema, sendo dois polos de pivôs centrais dentro do estado de São Paulo.

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI 17) também tem apresentado crescimento na implantação dos pivôs centrais. A expansão dos pivôs centrais nesta área tem se acelerado, devido ao aumento da produção agrícola e da irregularidade de precipitação. Diretamente proporcional à expansão dos equipamentos é o aumento da demanda de água para irrigação, tema que tem sido objeto de constante preocupação de órgãos de gestão de recursos hídricos e da sociedade civil, uma vez que a falta de gestão do recurso hídrico pode ocasionar constantes conflitos pelo seu uso.

A quantidade e qualidade da água doce sempre foram essenciais para manter os ciclos de vida e a sobrevivência da espécie humana. A quantidade e qualidade de água disponíveis são fundamentais para a economia regional, continental e mundial, uma vez que, água de boa qualidade é um fator preponderante para a manutenção da sustentabilidade, a saúde humana e a qualidade de vida de populações urbanas e rurais (TUNDISI, 2003).

A segurança hídrica pode ser ameaçada e tornar-se um tema de preocupação se levarmos em consideração que atualmente o consumo de água para irrigação já ultrapassa com folga o consumo de água para abastecimento humano na Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (CBH-MP, 2018), evidenciando a necessidade de uma gestão adequada do consumo pelos ocupantes da UGRHI 17.

Sendo a água um recurso finito e com consumo intensivo por parte dos irrigantes, torna-se necessário o conhecimento sobre a localização dos pivôs centrais e sua área irrigada para uma gestão de recursos hídricos eficaz por parte dos usuários de recursos hídricos da bacia, órgão públicos e comitês de bacias hidrográficas, o que evidencia a importância do estudo.

Diversos pesquisadores vêm abordando o tema na última década; a grande maioria utiliza o sensoriamento remoto como ferramenta para o mapeamento dos pivôs centrais e de sua área irrigada. Schmidt et al. (2014), diagnosticaram a escassez de dados sobre irrigação no Brasil e utilizaram o sensoriamento remoto como ferramenta para o levantamento da distribuição espacial de pivôs centrais no Brasil.

Com forte vocação rural, a UGRHI 17 possui uma área territorial de aproximadamente 16.749 km². No total, 55 municípios possuem área dentro da UGRHI. Destes, 42 municípios possuem sede dentro na área da UGRHI 17 e 13 municípios apresentam sua sede fora da área da UGRHI 17 (CBH-MP, 2018).

No levantamento bibliográfico realizado nesta pesquisa, não foram encontrados estudos referentes à distribuição espacial dos pivôs na UGRHI 17. Assim, a presente dissertação de mestrado buscou mapear e quantificar os pivôs centrais na UGRHI 17, bem como sua distribuição geográfica e área irrigada por município, de maneira a subsidiar discussões e a implantação de políticas públicas de gerenciamento de recursos hídricos.

O gerenciamento de recursos hídricos no território da UGRHI 17 é um tema no qual tenho atuado como consultor de engenharia, principalmente no mercado de irrigação. A irrigação é uma prática que sempre me causou curiosidade e despertou-me o desejo de analisar a expansão dos pivôs centrais e os impactos que causam nos recursos hídricos. Dessa forma, o tema escolhido aborda uma vivência diária do autor, que atua com análises de vazões, projetos de captação e licenciamentos ambientais para implantação de pivôs centrais.

Neste primeiro capítulo da dissertação foi feita uma introdução, que apresenta a problemática da expansão da agricultura irrigada frente ao consumo de água e a necessidade de gestão de recursos hídricos pelos usuários.

No segundo capítulo, foram elaborados objetivos gerais e específicos da dissertação.

No terceiro capítulo, foi feita uma revisão bibliográfica, com fundamentos sobre irrigação e pivôs centrais, legislação relacionada a recursos hídricos e irrigação, impactos ambientais ocasionados pela utilização de pivôs centrais e a metodologia de sensoriamento remoto aplicada ao mapeamento de pivôs centrais.

O quarto capítulo apresenta a metodologia utilizada para o desenvolvimento da presente dissertação, começando pela delimitação do território da UGRHI 17, passando pela base de dados utilizada para a caracterização da área de estudo, bem como as metodologias de sensoriamento remoto utilizadas para mapeamento dos pivôs centrais e área irrigada. Por último, é apresentada a metodologia de análise dos dados levantados.

O quinto capítulo foi dividido em subcapítulos e trata dos resultados obtidos, começando pela caracterização do território da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema, levando em consideração aspectos como municípios integrantes do território, municípios participantes do Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (CBH-MP), Unidades de Planejamento Hídrico, clima, solo, declividade e uso do solo da área de estudo. Após a caracterização, são apresentados os resultados obtidos com a metodologia de sensoriamento remoto para mapeamento dos pivôs centrais na UGRHI 17 nos anos de 1985, 1990, 2000, 2005, 2010, 2014, 2017 e 2019. Ainda, nesse capítulo, são discutidos os impactos causados pela irrigação por pivôs centrais nos recursos hídricos, qual o uso e cobertura da terra sob cada pivô central, peculiaridades levadas em consideração pelos produtores rurais no processo decisório de implantação de um sistema de irrigação por pivô central e as políticas públicas de gerenciamento de recursos hídricos. Também é discutida a necessidade do gerenciamento do recurso hídrico por parte do usuário de maneira a garantir a longevidade do recurso.

O sexto capítulo trata das considerações finais no qual são resgatados alguns pontos abordados e são apresentadas conclusões sobre os objetivos apresentados.

Por fim, o sétimo capítulo traz as referências bibliográficas utilizadas no embasamento teórico e metodológico para elaboração da presente dissertação.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral do presente estudo foi mapear e quantificar os pivôs centrais existentes no território da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema de forma a subsidiar a definição de estratégias que envolvam a agricultura irrigada e a gestão de recursos hídricos na UGRHI 17.

2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do estudo foram:

- Realizar uma caracterização do território da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema levando em consideração o relevo, clima, pedologia e declividade, sendo esses os principais fatores que influenciam diretamente no processo de implantação de pivôs centrais;
- Diagnosticar o uso e cobertura da terra sob os pivôs existentes na UGRHI 17.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Gestão das Águas e Instrumentos de Gestão

A água é de suma importância para existência da vida no planeta. Não só por ser essencial a hidratação humana e animal, mas também pela sua importância em diversas atividades antrópicas, como os processos industriais e a agricultura. O crescimento populacional, aliado a industrialização e a expansão agrícola no último século vem acarretando problemas de escassez e degradação dos recursos hídricos. Por esse motivo, a gestão das águas passou a fazer parte das discussões políticas, sociais, econômicas e acadêmicas. A percepção atual é de que a água é um recurso finito, escasso e valorizado economicamente. Assim, a necessidade deste recurso conduz fornecedores e usuários a negociarem e a implantarem sistemas de gerenciamento de recursos hídricos (CASTRO, 2012).

A crescente pressão sobre os recursos de água doce, causada pelo aumento da demanda, pela poluição e pelo desperdício, é uma das principais preocupações e problema-chave do século XXI, de forma que se torna necessário o desenvolvimento de políticas e sistemas de gerenciamento de recursos hídricos bem-sucedidos para que atendam as demandas de consumo sem impactar negativamente a natureza (LEAL, 2012).

O conhecimento da demanda *versus* o consumo é um dos principais dados que orienta o gerenciamento de um determinado recurso. Para o cálculo de demanda e disponibilidade de água no território da UGRHI 17, o Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema trouxe em seu Plano de Bacia Hidrográfica (2018) um comparativo que utiliza duas referências, sendo a primeira a vazão de sete dias consecutivos com dez anos de recorrência ($Q_{7,10}$) como vazão de referência para disponibilidade hídrica, de $65 \text{ m}^3/\text{s}$ na UGRHI 17. A segunda referência é a vazão de 95% permanência. A $Q_{95\%}$ representa a vazão mínima existente em um determinado ponto de interesse com 95% de probabilidade de atendimento, utilizando a $Q_{95\%}$ como vazão de referência, a disponibilidade hídrica é de $82 \text{ m}^3/\text{s}$. A demanda é de $11,22 \text{ m}^3/\text{s}$ e representa todos os usos outorgados na Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (CBH-MP, 2018).

Se comparadas as demandas de água por tipo de uso podemos observar no Quadro 1 que a maior demanda de captação é para o setor rural, sendo de $5,73 \text{ m}^3/\text{s}$. Em segundo lugar, tem-se o uso urbano com $2,95 \text{ m}^3/\text{s}$ e em terceiro o uso industrial com $2,50 \text{ m}^3/\text{s}$. Outros usos correspondem a $0,05 \text{ m}^3/\text{s}$ (CBH-MP, 2018). Tais dados mostram que a UGRHI 17 possui forte

vocação rural, porém deve-se levar em consideração que a demanda apresentada é referente somente aos usos outorgados na UGRHI, não sendo contabilizados os usos sem outorga.

Quadro 1 - Demandas de água por tipo de uso.

Tipos de uso	Vazão (m³/s)
Demanda urbana	2,95
Demanda rural	5,73
Demanda industrial	2,50
Demanda para outros usos	0,05

Fonte: CBH-MP, 2018.

A demanda rural representa a soma de todo volume de água superficial e subterrânea captado requerido para irrigação, pecuária, aquicultura, etc., sendo a irrigação a maior responsável pela alta demanda dentre os usos rurais (CBH-MP, 2018). Na UGRHI 17 a principal cultura produzida é a da cana de açúcar, que representa 48% das culturas temporárias cultivadas no território, seguida do milho com 23% e da soja com 22% (SEADE, 2012).

Tendo em vista a quantidade de água utilizada pela agricultura se faz necessária a regulação de políticas públicas para o gerenciamento de recursos hídricos. O instrumento regulatório vigente da utilização da água pelos irrigantes é a outorga de direito de uso de recursos hídricos. Instituída pelo art. 5º da Política Nacional de Recursos Hídricos, a outorga é um ato administrativo no qual o Poder Público outorgante faculta ao outorgado o uso do recurso hídrico, por prazo determinado, em condições expressas na publicação do ato (BRASIL, 1997).

Segundo a Lei Federal nº 9.433/97 a outorga tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo da água e disciplinar sua utilização, de maneira a compatibilizar a demanda e disponibilidade dos recursos hídricos. Estão sujeitas a outorga de direito de uso a derivação ou captação de água existente em um corpo d'água para consumo final; extração de água de aquífero subterrâneo; lançamento em corpo d'água de esgotos e demais resíduos líquidos ou gasosos, tratados ou não com o fim de transporte, diluição ou disposição final; aproveitamento de regimes hidroelétricos e outros usos que possam alterar o regime ou impactar os recursos hídricos de alguma forma.

No Estado de São Paulo cabe ao Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE) o poder outorgante, o deferimento sobre captações superficiais e subterrâneas com o objetivo de suprir a demanda de pivôs centrais (SÃO PAULO, 1996). Ao considerar que a outorga é um direito de uso da água, sendo essa um bem público, a Portaria DAEE nº 1.630 de 2017 estabelece algumas obrigações a serem seguidas ao outorgado, entre elas: responder em próprio nome pelos danos causados aos recursos hídricos, preservar as características físicas e químicas de águas superficiais e subterrâneas e utilizar os recursos hídricos de acordo com a vazão e

forma de utilização dispostos nas portarias publicadas de outorga. Além disso, a Portaria ainda prevê que a outorga pode ser suspensa ou readequada de acordo com o aumento da demanda ou insuficiência natural de recursos hídricos para atendimento dos usuários, sem qualquer tipo de indenização ao outorgado.

Na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema, o Departamento de Águas e Energia Elétrica utiliza a Q_{95} como vazão de referência para concessão de outorgas de direito de uso de recursos hídricos. A Q_{95} pode ser obtida pelo método da regionalização hidrológica, um método estatístico que leva em consideração análises de frequências de ocorrência de um determinado evento, sendo a Q_{95} a vazão igual ou superior a 95% do tempo no ponto de interesse. Para captações a fio d'água, é permitida a captação de 50% da Q_{95} para os usuários da UGRHI (CBH-MP, 2018).

Outro instrumento regulatório e de gerenciamento de recursos hídricos da Política Nacional de Recursos Hídricos é o enquadramento dos corpos d'água em classes, segundo o uso preponderante da água. Tal enquadramento visa assegurar água de qualidade compatível com os usos mais exigentes a que for destinada e diminuir os custos no combate à poluição. A PNRH ainda estabelece que as classes de corpos d'água serão estabelecidas pela legislação ambiental e, em seu art. 13, é citado que toda outorga deverá respeitar a classe em que o corpo d'água estiver enquadrado (BRASIL, 1997).

A Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, determina que compete ao Conselho Estadual de Recursos Hídricos efetuar o enquadramento de corpos d'água em classes de uso preponderantes, com base nas propostas dos Comitês de Bacias Hidrográficas, compatibilizando-as e arbitrando os eventuais conflitos decorrentes dos enquadramentos. O enquadramento ordena os cursos d'água em 4 classes e a classe especial, definindo os usos preponderantes em cada uma delas, conforme determina a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2015 (BRASIL, 2015). As classes variam de acordo com a qualidade da água, sendo a classe especial a de maior qualidade e a classe 4 a de menor qualidade, como podemos observar no Quadro 2.

Quadro 2 - Usos preponderantes das águas à partir do seu enquadramento.

Classe	Uso
Especial	Águas destinadas ao abastecimento humano, com desinfecção.
	Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
	Preservação de ambientes aquáticos em unidades de conservação de tempo integral.
1	Abastecimento para o consumo humano, após tratamento simplificado.
	Proteção das comunidades aquáticas.
	Recreação de contato primário.
	Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película.
	Proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.
2	Abastecimento e consumo humano, após tratamento convencional.
	Proteção de comunidades aquáticas.
	Recreação de contato primário.
	Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.
	Aquicultura e à atividade de pesca.
3	Abastecimento e consumo humano, após tratamento convencional ou avançado.
	Irrigação de culturas arbóreas, cerealista e forrageiras.
	Pesca amadora.
	Recreação de contato secundário.
	Dessedentação de animais.
4	Navegação.
	Harmonia paisagística.

Fonte: BRASIL, 2015.

Na UGRHI 17 a maior parte dos recursos hídricos se enquadra na classe 2, sendo esta classe que permite o uso para irrigação por pivôs centrais e abastecimento e consumo humano, após tratamento convencional. A UGRHI 17 ainda não possui uma proposta própria de enquadramento, uma vez que é necessário um monitoramento constante da qualidade da água para que seja atestada as classes dos recursos hídricos (CBH-MP, 2018).

A cobrança pelo uso da água é um dos instrumentos de gestão de recursos hídricos instituída pela Política Nacional de Recursos Hídricos e regulamentada pelo Decreto Estadual do estado de São Paulo nº 50.667, de 30 de março de 2006. A cobrança pelo uso dos recursos hídricos representa o valor a ser pago pela utilização de um bem público, visando à garantia dos padrões de qualidade, quantidade e regime estabelecidos para os corpos d'água das bacias hidrográficas. A cobrança pelo uso da água tem por objetivo principal reconhecer a água como um bem público dotado de valor econômico, incentivar o seu uso racional e sustentável, obter recursos financeiros para o financiamento dos programas contemplados nos Planos de Bacias Hidrográficas e utilizar a cobrança como instrumento de planejamento, gestão integrada e descentralização do uso de recursos hídricos (SÃO PAULO, 2006).

O Decreto Estadual nº 50.667/2006 ainda dispõe que estão sujeitos à cobrança todos os usuários que utilizam os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, ficando isentos da cobrança o uso em pequenos núcleos populacionais distribuídos na área rural, quando

independer de outorga de recursos hídricos e usuários com extração subterrânea em vazão inferior a cinco metros cúbicos por dia que independam de outorga. A legislação reconhece, para efeitos de cobrança, em seu art. 8º o usuário urbano (público ou privado) e o usuário industrial.

O Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema aprovou a implantação da cobrança dos recursos hídricos para usuários urbanos e industriais na UGRHI 17 a partir de 1º de janeiro 2015 nos moldes do Decreto Estadual nº 50.667/2006. O uso rural e a irrigação também não são citados na deliberação do CBH, dessa forma, o irrigante não é enquadrado na cobrança dos recursos hídricos tanto no Decreto Estadual quanto na deliberação do Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (CBH-MP, 2012).

A Resolução Conjunta SMA/SAA/SJDC nº 01, de 27 de dezembro de 2011, que dispõe sobre o licenciamento para atividades agropecuárias no estado de São Paulo considera projetos de irrigação como empreendimentos com reduzido potencial poluidor/degradador e dispensa os empreendimentos de obtenção de licença ambiental, desde que não impliquem em intervenção em áreas de preservação permanente ou supressão de vegetação nativa (SÃO PAULO, 2011). Logo, a legislação voltada ao licenciamento da atividade leva em consideração apenas a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica para concessão da outorga e implantação dos pivôs centrais, e não leva em consideração todos os impactos da atividade nos corpos hídricos.

No território da UGRHI 17, a gestão dos recursos hídricos é realizada pelo Sistema de Gestão de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo, que tem como um dos pilares os Comitês de Bacias Hidrográficas.

O Sistema de Gestão de Recursos Hídricos no Estado de São Paulo é composto por três instâncias fundamentais: a instância financeira, a instância técnica e a instância política. A instância financeira é constituída pelo Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO), a instância técnica é constituída pelo Comitê Coordenador do Plano Estadual de Recursos Hídricos (CORHI) e a instância política é constituída por um colegiado central, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CRH), e os órgãos colegiados regionais, denominados Comitês de Bacias Hidrográficas (OLIVEIRA, 2009).

Uma organização pode assumir diferentes formas quanto à sua estruturação ou desenho organizacional. Uma das opções de estruturação é a criação de órgãos colegiados, cuja a principal característica é análise de problemas e tomadas de decisão por um grupo de pessoas, de forma que os conhecimentos e responsabilidades sejam compartilhados. Os órgãos colegiados são indicados sempre que há a necessidade da resolução de problemas complexos, seja pelas suas múltiplas facetas ou diferentes interesses envolvidos. Os órgãos colegiados

possibilitam também a coordenação de esforços e recursos, a negociação de objetivos e metas, o comprometimento e corresponsabilidade entre os membros que os compõem (FEICHAS, 2002).

Baseada no fundamento de que a água é um bem de domínio público, limitado e dotado de valor econômico, foi instituída pela Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, a Política Nacional de Recursos Hídricos com o objetivo de assegurar à atual e futuras gerações a disponibilidade de água. A PNRH, determinou a bacia hidrográfica como unidade territorial responsável pelas ações de gerenciamento dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

No estado de São Paulo, a Política Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991, tem como um de seus princípios o gerenciamento descentralizado, participativo e integrado dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Para isso, em seu art. 20 é definido que o Plano Estadual de Recursos Hídricos apresentará unidades hidrográficas para o gerenciamento dos recursos hídricos (SÃO PAULO, 1991).

A necessidade de descentralização do gerenciamento de recursos hídricos apresentada pela Política Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos pode ser justificada, entre outros aspectos, pela dimensão continental, diversidade cultural, econômica, social e ambiental do Brasil. Ainda podemos citar a necessidade da participação da sociedade local no gerenciamento dos recursos hídricos para justificar o gerenciamento descentralizado, uma vez que a sociedade local representa os usuários de recursos hídricos (KETTELHUT, 2001).

Na Lei Estadual do estado de São Paulo nº 16.337, de 14 de dezembro de 2016, que dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos, é determinada a divisão do estado em vinte e duas Unidades Hidrográficas de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI, ficando definido que cada unidade crie o seu próprio Comitê de Bacia Hidrográfica.

O Comitê de Bacia Hidrográfica consiste em um fórum onde representantes se reúnem para discutir sobre um interesse em comum – o uso da água na bacia. A diversidade de interesses em relação ao uso da água, bem como sua distribuição desigual podem acarretar em conflitos pelo uso. Impedir tal situação e estabelecer acordos entre os múltiplos usos demandam arranjos institucionais que permitem a conciliação dos diferentes interesses e a construção coletivas de soluções (ANA, 2011).

O Comitê de Bacia Hidrográfica tem papel fundamental na resolução de problemas que envolvam conflitos pelo uso da água. A intensificação do uso da água para irrigação, causada pela ampliação da produção de alimentos e outros bens de consumo, já provocou conflitos entre seus usuários em diversos locais do país. O Rio Salitre, afluente do Rio São Francisco, no estado da Bahia, devido à alta demanda de captação superficial para atendimento a projetos de

irrigação, em determinado período do ano, tem toda sua vazão comprometida, exigindo uma reversão da bacia hidrográfica do Rio São Francisco para atender outras demandas. No Vale do Jaguaribe, houve necessidade de adoção de um plano de racionamento de uso de água no setor da irrigação, no qual os gestores de recursos hídricos estabeleceram mecanismos para enfrentar a escassez de água na bacia, implantando compensações técnico-financeiras de maneira a incentivar a substituição da cultura do arroz por culturas de menor consumo de água (ANA, 2011).

Dessa forma, pode-se afirmar que quanto à natureza de ação, o CBH é voltado à identificação e equacionamento de prioridades, no âmbito das questões ambientais e de aproveitamento de recursos hídricos. Dessa forma, deve se posicionar como um fórum de mediação de conflitos e de ordenamento técnico-político para alternativas de atuação (MASCARENHAS, 2006).

Atendendo assim à legislação estadual e federal, no aspecto da gestão descentralizada dos recursos hídricos, foi criado em 02 de dezembro de 1994, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema, sendo responsável pela gestão na UGRHI 17, visando a recuperação, preservação e conservação dos recursos hídricos em seu território (CBH-MP, 2018).

Em seu estatuto, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (2000), apresenta como objetivo promover o gerenciamento descentralizado dos recursos hídricos; adotar a bacia hidrográfica como unidade físico-territorial de planejamento e gerenciamento; reconhecer o recurso hídrico como bem público e dotado de valor econômico; combater e prevenir a poluição, inundações, estiagens, erosão do solo e assoreamento de corpos d'água; bem como compatibilizar o gerenciamento dos recursos hídricos com o desenvolvimento econômico e a proteção do meio ambiente.

Dentre as competências do Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema, podemos citar: propor critérios e valores a serem cobrados pela utilização de recursos hídricos contidos na Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema; aprovar propostas

Para a utilização dos recursos financeiros em serviços e obras de interesse para o gerenciamento de recursos hídricos; aprovar propostas de enquadramento de classes de usos preponderantes; promover a cooperação e eventual conciliação entre os usuários de recursos hídricos; apreciar relatórios de situação dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Médio Paranapanema; elaborar e implementar planos emergenciais para garantir a qualidade e quantidade dos recursos hídricos (CBH-MP, 2000).

Apesar do Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema ser um dos instrumentos de gestão de recursos hídricos que pode deliberar sobre a implantação de pivôs

centrais o tema é pouco debatido. Dentre as propostas e trabalhos das Câmaras Técnicas, a única deliberação do Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema que trata sobre agricultura irrigada é a deliberação CBMP 057/03 de 09 de dezembro de 2003 que aprova o projeto regional “Programa de Agricultura Irrigada do Médio Paranapanema”. O Programa, apreciado e aprovado pela Câmara Técnica de Planejamento, Avaliação e Saneamento, tomou recursos do Fundo Estadual de Recursos Hídricos (FEHIDRO) com o objetivo de realizar um projeto regional que abrangesse uma parceria entre diversas Instituições Estaduais, Municipais e da Sociedade Civil, sediadas na UGRHI 17. Dessa forma, foi destinado R\$ 75.000,00 para a Fundação do Desenvolvimento da Agricultura Sustentável do Estado de São Paulo – FUNDAG, para a implantação de um Campo de Demonstração de Irrigação (CBH-MP, 2003). Porém não existem indícios do resultado do programa.

O Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema também possui poucos dados sobre os pivôs centrais na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos Paranapanema. Em seu Plano Integrado de Recursos Hídricos (2016), o CBH do Rio Paranapanema reconhece que os pivôs centrais estão presentes em larga escala na bacia, mas concentrados no território da UGRHI 14 (Alto Paranapanema), sendo que a maioria dos pivôs centrais estão localizados em áreas de produção de grãos e que existe uma preocupação quanto a sua quantificação e localização, uma vez que podem impactar diretamente os recursos hídricos.

3.2 Pivôs Centrais

A irrigação de culturas agrícolas é uma prática milenar utilizada principalmente para complementar a disponibilidade hídrica provida naturalmente pela precipitação, de maneira a proporcionar ao solo um elevado teor de umidade para suprir as necessidades hídricas das culturas plantadas (SETTI et al., 2001). Uma das tecnologias de irrigação mais utilizadas e, em crescente expansão, é a aspersão por pivôs centrais.

A tecnologia de aspersão teve seu início após a II Guerra Mundial, com o surgimento de aspersores rotativos e queda do preço do alumínio, o que propiciava a produção de tubos de alumínio razoavelmente baratos. Nos primeiros sistemas de aspersores, os tubos de alumínio eram conectados e os aspersores eram posicionados acima da linha de plantio, porém não eram móveis, ocasionando uma grande demanda de trabalho, uma vez que ao irrigar uma linha o sistema todo deveria ser desmontado e remontado na próxima linha de plantio. O sistema rapidamente evoluiu e algumas mudanças foram feitas, como a implantação de tubulações

laterais que poderiam ser montadas e desmontadas, formando linhas laterais, para expandir a área irrigada pelos aspersores (TESTEZLAF, 2017).

Em 1952 no estado do Nebraska, Estados Unidos, Frank Zybach patenteou o sistema de irrigação por pivô central. A produção em série do equipamento começou um ano depois e em 1970 o equipamento começou a ganhar notoriedade quando 800.000 hectares já eram irrigados pelo sistema (CARVALHO; SILVA, 2007).

O sistema de irrigação por pivô central chegou ao Brasil na década de 1970, tendo sua expansão nas décadas seguintes, impulsionada por programas governamentais como o Programa de Irrigação do Nordeste (PROINE), o Programa de Financiamento de Equipamentos de Irrigação (PROFIR) e o Programa Nacional de Irrigação (PRONI) (CHRISTOFIDIS et al., 2002).

O pivô central é um sistema mecânico que possui uma linha lateral de aço com saídas para emissores. Os aspersores ficam suspensos por torres de sustentação que possuem rodas em suas bases, o que permite que o equipamento se movimente de maneira circular em torno de um ponto fixo denominado “base” ou “ponto do pivô”, tanto em sentido horário, quanto em sentido anti-horário, formando uma área irrigada de formato circular. As torres são ligadas uma a uma até a extremidade do equipamento na última torre, na qual é acoplado um canhão final com o objetivo de aumentar a área irrigada (COLOMBO, 2003). A Figura 1 mostra o exemplo de um pivô central.

Figura 1 - Pivô central no território da UGRHI 17.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

O comprimento do pivô central é bastante variado, dependendo da área a ser irrigada e das características topográficas. Existem laterais de pivô que variam desde 60 m até 790 m de comprimento, correspondendo a uma área irrigada de 1,13 a 196 ha, respectivamente (ADDINK et al., 1983).

A movimentação do pivô central se dá pelo avanço da última torre, que ao começar a avançar desencadeia a movimentação das torres subsequentes. A velocidade entre todas as torres é comandada por caixas de controle individuais que permitem o perfeito alinhamento entre as mesmas. Se o sistema de alinhamento falhar, as torres do pivô irão se desalinhar. Atualmente, existem dispositivos de segurança que são acionados ao detectarem o desalinhamento das torres, promovendo uma correção automática (TESTEZLAF, 2017).

Dentre as principais vantagens da utilização dos pivôs centrais, podemos citar o suprimento de água em épocas de escassez de chuvas em períodos críticos de crescimento de culturas, estabilidade na oferta de alimentos pela maior padronização de colheita e plantio e menor dependência de fatores climáticos (ANA, 2016). Também devemos destacar que o equipamento pode ser utilizado para aplicação de fertilizantes, inseticidas e fungicidas (LANDAU et al., 2014) e a produção de até três safras ao ano, como por exemplo, milho, soja e feijão (SILVEIRA, 2011).

Para um bom manejo da irrigação, é necessário o conhecimento dos parâmetros que quantificam a eficiência da aplicação, sendo a uniformidade de aplicação a principal delas. Em um cenário no qual a conservação dos recursos hídricos é enfatizada, a economia de água e energia pode ser um fator determinante quanto a escolha de um sistema de irrigação. Dessa forma, a uniformidade de aplicação da água tornou-se uma preocupação crescente para os fabricantes de equipamentos, projetistas e usuários de sistemas de irrigação. Para garantir o correto uso da água, o sistema de irrigação por aspersão deve realizar a aplicação de maneira mais uniforme possível, uma vez que, caso isso não ocorra haverá um grande desperdício de água, energia elétrica e fertilizantes, diminuindo assim o retorno econômico e aumentando o impacto ambiental da irrigação (OLIVEIRA et al., 2012).

A uniformidade de aplicação de água é o indicador de desempenho que reflete o grau de variação da água aplicada em uma dada irrigação. Quanto mais uniforme for a distribuição da água aplicada pelo sistema de irrigação, melhor será o seu desempenho. O método mais utilizado para avaliar esse parâmetro é o “coeficiente de uniformidade de Christiansen” (CUC) (EMBRAPA, 2002).

Os ensaios de coeficiente de uniformidade de Christiansen levam em consideração a uniformidade de aplicação pelos aspersores do pivô central, de forma que toda área irrigada

receba a lâmina aplicada de maneira uniforme. Para determinação do CUC em áreas irrigadas por pivôs centrais, de acordo com a NBR 14.244 da ABNT de 1998, são distribuídos coletores pela área irrigada de maneira a detectar a uniformidade da aplicação. O valor do CUC é dado em % e classifica a eficiência de aplicação conforme exposto no Quadro 3.

Quadro 3 - Coeficientes de uniformidade de distribuição de água em pivô central.

CUC (%)	Classificação
< 80	Ruim
80 a 84	Regular
85 a 89	Boa
> 90	Muito Boa

Fonte: ABNT, 1998.

Quanto maior o CUC, maior será a uniformidade de aplicação e, conseqüentemente, sua eficiência. Diversos autores discutem a eficiência do sistema de aspersão por pivô central. Bernardo; Soares; Mantovani (2005) afirmam que a eficiência de irrigação varia de 70% a 90%, sendo que o usual é que se obtenha no mínimo 80% de eficiência em condições normais de dimensionamento e manejo. Já Toledo et al. (2017) afirmam que os sistemas de aspersão possuem eficiência de aplicação de 90%, ou seja, de toda água captada admite-se a perda de apenas 10%, porém o sistema deve ser corretamente manejado para que se consiga atingir todo seu potencial. O Manual de Coeficientes da Agricultura Irrigada da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico propõe uma eficiência de 85% para os pivôs centrais (ANA, 2019).

Diversos fatores podem influenciar a efetividade da aplicação, incluindo as características do aspersor, fatores climáticos e o manejo do sistema (FARIA et al., 2009).

O vento é o fator climático com maior influência na efetividade de aplicação do pivô central. Tal fato ocorre devido a água ser lançada ao ar, fazendo com que a uniformidade da aplicação dos microaspersores seja diretamente influenciada, causando o arraste das gotas em diversas direções (SILVA; SILVA, 2005). Também deve ser levado em consideração a velocidade do vento, a umidade relativa e a temperatura do ar que exercem influência marcante na distribuição da água (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2005).

A topografia do terreno também influi diretamente na seleção do sistema. Com relação à declividade do terreno, os pivôs podem funcionar com desníveis de até 20%. Entretanto, recomenda-se que a declividade da superfície a ser irrigada não ultrapasse 15% de maneira a evitar avaria nas torres e tombamento do equipamento (LIMA, 2003).

O pivô central também apresenta algumas limitações, como a perda de área irrigada devido ao pivô central irrigar apenas de forma circular e não se adaptar às diferentes geometrias

das áreas agrícolas. Essas perdas podem chegar até 20% e são chamadas de “calcinhas” ou “áreas de sequeiro” (BARBOSA, 2016).

Atualmente existem 1.476.101 ha irrigados por pivô central no Brasil. O estado de São Paulo possui 13% do total da área irrigada por pivô central, atrás dos estados da Bahia com 15%, Goiás com 18% e Minas Gerais com 31%. A região hidrográfica do Paraná, constituída pelas bacias dos rios Paranaíba, Grande e Paranapanema, corresponde sozinha a 622.075 ha irrigados por pivô central, totalizando 42% de toda a área irrigada em território nacional. Estimativas apontam uma forte tendência ao crescimento da agricultura irrigada por pivôs centrais. Estima-se que até 2030 o método seja responsável por 40% de toda área irrigada do país (ANA, 2019).

Um levantamento realizado pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico em 2019 demonstrou que no estado de São Paulo o município de Itaí, localizado na UGRHI-14, possui maior área ocupada por pivôs centrais, totalizando 13.835,65 ha, seguido do município de Guaíra, localizado na UGRHI-08 (bacia hidrográfica Sapucaí-Mirim/Grande) com 13.554,24 ha e do município de Paranapanema (bacia hidrográfica Alto Paranapanema) com 11.670,20 ha irrigados. Dentre os pivôs instalados no estado de São Paulo 45,27% estão localizados na sub-bacia hidrográfica Alto Paranapanema, maior concentração de pivôs do estado, seguida da sub-bacia hidrográfica Sapucaí/Grande com 10,30% da área ocupada por pivôs centrais e da sub-bacia hidrográfica Mogi-guaçu com 9,72%. A bacia hidrográfica Médio Paranapanema possui apenas 2,58% da área ocupada por pivôs centrais no estado de São Paulo, com 78 pivôs centrais e 4.351,65 ha irrigados. O mesmo levantamento ainda afirma que o tamanho médio da área irrigada por cada pivô foi de $47,81 \pm 33,03$ há (ANA, 2019). O sistema de irrigação por pivô central tem se difundido pelo estado de São Paulo, logo torna-se necessário um aprofundamento sobre os impactos ambientais causados, uma vez que o equipamento utiliza quantidades consideráveis de água subterrânea ou superficial.

Em 1979, Nutt-Powell e Landers, publicaram um estudo de caso descrevendo o sistema de pivô central como sendo “o mais significativo avanço na irrigação em 400 anos”, porém fizeram sérias ressalvas quanto à quantidade de água e energia utilizada pelo sistema, alegando que haviam significativas quedas no nível de água subterrânea no estado do Nebraska, que teve ampla disseminação da tecnologia.

Os produtores rurais reconhecem, na maioria das vezes, a necessidade de controlar a quantidade de insumos agrícolas, como: sementes, fertilizantes e defensivos agrícolas. No entanto, a necessidade de medir ou controlar o volume de água captada pelo sistema de irrigação é quase sempre ignorada (SANDRI; CORTEZ, 2009). Apesar da água ser um bem público e

dotado de valor econômico, a cobrança pelo uso da água para irrigantes ainda não está implantada em grande parte do país, levando os produtores rurais a uma visão de não se caracterizar como uma medida de controle de custos. Dessa forma, a gestão da uniformidade de aplicação pivô central é negligenciada, levando a grandes desperdícios de água.

Deve ser levado em consideração outros possíveis impactos na implantação da agricultura irrigada, como: consumo acima da disponibilidade hídrica da bacia hidrográfica, contaminação de recursos hídricos, aumento de processos erosivos, assoreamento de rios e falta de manejo na aplicação de fertilizantes e defensivos químicos (ERTHAL; BERTICILLI, 2018).

A contaminação dos recursos hídricos também pode ser apontada como um impacto negativo. A água utilizada no processo de fertirrigação carrega fertilizantes (nitrogênio, fósforo e nitratos) que podem infiltrar e atingir reservas de águas subterrâneas ou escoar superficialmente até rios, impactando diretamente o ecossistema aquático ocasionando a eutrofização (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006).

A agricultura irrigada também pode ocasionar a salinização do solo. A salinização do solo afeta diretamente a germinação, a densidade e o desenvolvimento vegetativo das culturas, reduzindo assim a produtividade. Pode-se dizer que a salinização é proveniente da irrigação sem manejo. O sal presente na água captada acumula-se na superfície do solo e caso não exista lixiviação e drenagem adequada o solo pode-se tornar altamente salino, sendo impróprio para a prática da agricultura. Estima-se que no estado de Minas Gerais já existem problemas com a salinização do solo, tanto em áreas de projetos públicos de irrigação, quanto em áreas de projetos privados. Quanto maior a eficiência de aplicação, menor a lâmina d'água aplicada, o que resguarda o solo em relação a problemas com a salinização (SALASSIER, 2008).

Em estudo realizado na cidade de Guaíra – SP, observou-se um aumento nas concentrações de várias substâncias dissolvidas na água utilizada para irrigação. O estudo realizou um comparativo do recurso hídrico a montante e a jusante de um pivô central e foi constatado um valor excessivo de sódio a jusante do empreendimento, bem como a queda do oxigênio dissolvido, o que torna o rio inadequado para a conservação de vida silvestre aquática, ocasionando uma queda na qualidade da água. Porém, é importante salientar que o impacto negativo não ocorre necessariamente pela utilização do pivô central, mas sim pela falta de manejo na aplicação do sistema (RODRIGUES; IRIAS, 2004).

Deve-se salientar que a pulverização de agrotóxicos por pivôs centrais pode causar um alto impacto ambiental à saúde humana. Caso a aplicação não seja efetiva, os elementos químicos podem contaminar os corpos hídricos que também são utilizados para abastecimento

público, sendo o Distrito Federal o único território com legislação que regulamenta a aplicação de defensivos químicos por pivôs centrais no Brasil (FERREIRA, 2014).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) monitora o Índice de Qualidade das Águas Interiores no estado de São Paulo. Dentre as variáveis químicas de monitoramento estão agrotóxicos (DDT, Inseticidas, Herbicidas e Pesticidas Organoclorados), fósforo, potássio e sódio (CETESB, 2017). Porém, a quantidade de rios e córregos monitorados ainda é pequena frente à expansão da agricultura irrigada por pivôs centrais nas bacias hidrográficas, existindo assim uma carência de estudos que quantifiquem os impactos nos recursos hídricos.

Tendo em vista os impactos causados pelo sistema de irrigação se faz necessário o seu monitoramento. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, tem como metodologia a utilização do sensoriamento remoto para identificação da localização dos pivôs centrais e sua área irrigada (ANA, 2017). A seguir será discutido essa metodologia e a forma como é utilizada para caracterizar os equipamentos de irrigação no território.

3.3 Sensoriamento Remoto Aplicado a Pivôs Centrais

As imagens de satélite podem ser utilizadas no sensoriamento remoto para a extração de dados e informações do uso da terra de maneira relativamente precisa, rápida e econômica. Dessa forma o sensoriamento remoto pode ser visto como um importante sistema de aquisição de informações para diversas áreas de conhecimento, uma vez que revela informações sobre um objeto sem a necessidade de contato com o mesmo (BRAGA; OLIVEIRA, 2005).

Dessa forma, o objetivo principal do sensoriamento remoto é a expansão da percepção sensorial humana, seja por meio da visão panorâmica proporcionada pela aquisição de informações aéreas ou espaciais, seja pela possibilidade da obtenção de informações inacessíveis à visão humana (NOVO, 1992).

O sensoriamento remoto é uma ferramenta efetiva no monitoramento e planejamento do uso agrícola e bacias hidrográficas. As imagens de satélite podem fornecer uma vasta gama de informações quanto a dinâmica de utilização de pivôs centrais, uma vez que os pivôs centrais operam apenas de maneira circular, sendo facilmente identificados, podendo ser feitas análises temporais, cálculo de área irrigada e análises de valorização da paisagem. A Figura 2 exemplifica os padrões circulares deixados pela operação do sistema de irrigação (SOARES et al., 2007).

restrições relacionadas a disponibilidade, qualidade e conflitos de uso da água das bacias hidrográficas em que estão inseridas.

Schmidt et al. (2004) acreditavam que os dados sobre irrigação no Brasil eram imprecisos, uma vez que estavam disponíveis apenas a área irrigada por estado e por método de irrigação, porém não existiam dados como a distribuição da irrigação dentro dos estados, o número de equipamentos e seus tamanhos. Motivado pelas limitações citadas, os autores utilizaram o sensoriamento remoto para realizar uma distribuição espacial dos pivôs centrais na Região Sudeste utilizando imagens do satélite Landsat 7/ETM + e, eventualmente, Landsat 5 TM. Após levantar o número total de pivôs, área irrigada e área média por equipamento em toda a região sudeste, foram identificados 2.485 pivôs centrais no estado de Minas Gerais, 1.305 pivôs centrais no estado de São Paulo, 329 pivôs centrais no estado do Espírito Santo e 15 pivôs no estado do Rio de Janeiro. Os autores concluíram que a metodologia da aplicação do sensoriamento remoto se mostrou válida, uma vez que seus resultados apresentavam convergência com outras informações, como registro dos fabricantes e rastreamento pela outorga de direito de uso.

Landau; Guimarães; Reis (2014) mapearam todos os pivôs centrais do estado de São Paulo por meio de sensoriamento remoto com o objetivo de mapear e quantificar os pivôs centrais do estado, identificando sua localização, tamanho e distribuição geográfica para subsidiar planejamentos de agricultura irrigada e políticas para gerenciamento do uso das águas nas bacias hidrográficas. Utilizando imagens do satélite Landsat 8 e com o apoio de imagens de resolução espacial de 1 metro do software Google Earth, os autores identificaram 3.528 pivôs centrais no estado de São Paulo que ocupam uma área de 0,68% do Estado. Os autores ainda concluíram que 70% das áreas irrigadas em 2013 concentravam-se nas microrregiões de Itapeva (21,32%), Avaré (17,03%), São Joaquim da Barra (15,81%) e São João da Boa Vista (13,05%). Concluíram, também, que o número de pivôs centrais cresceu consideravelmente em relação ao levantamento de Schmidt et al. (2004) na década anterior e que mais de 90% das áreas irrigadas concentram-se nas bacias hidrográficas dos Rios Paranapanema (48,57%) e Grande (41,91%), pertencentes à região hidrográfica do Rio Paraná. Na bacia hidrográfica do Rio Paranapanema, os pivôs centrais concentram-se na UGRHI-14 e na bacia hidrográfica do Rio Grande a concentração é maior na UGRHI-09 (Mogi-Guaçu) e UGRHI-12 (Baixo Pardo/Grande).

Outras análises podem envolver o sensoriamento remoto e os pivôs centrais. Soares et al. (2007) realizaram uma análise de valorização das unidades de paisagem a partir das áreas irrigadas por pivô central na bacia hidrográfica do Rio Preto no Distrito Federal. O objetivo dos autores era entender a valorização do espaço a partir da implementação e utilização de pivôs

centrais. Utilizando imagens do satélite Landsat no ano de 2003, os autores concluíram que as áreas onde haviam mais pivôs centrais eram também as áreas com um maior valor financeiro agregado ao geoambiente, uma vez que a implantação dos equipamentos requeria uma variedade de investimentos em implantação e infraestrutura.

Pinhati (2018) utilizou o sensoriamento remoto para mapeamento de pivôs centrais na bacia hidrográfica do Rio São Marcos, uma das principais áreas de concentração de pivôs centrais no Brasil. Para o mapeamento, o autor utilizou imagens do satélite Sentinel-2, o satélite se sobrepõe ao Landsat no quesito resolução espacial que varia de 10 a 20 metros; após a delimitação da área de estudo é realizada a análise visual. Foi utilizado sensoriamento remoto para identificar também as barragens utilizadas para irrigação e realizar uma correlação com a área de drenagem a montante do ponto de captação dos pivôs centrais. Os resultados obtidos demonstraram que quanto maior a área de drenagem, menor a necessidade da existência de barragens para regularização de vazão dos rios. A metodologia ainda foi capaz de traçar um paralelo entre a análise temporal do crescimento da ocupação dos pivôs centrais na UGRHI 17 com a produtividade das culturas de milho, soja e feijão.

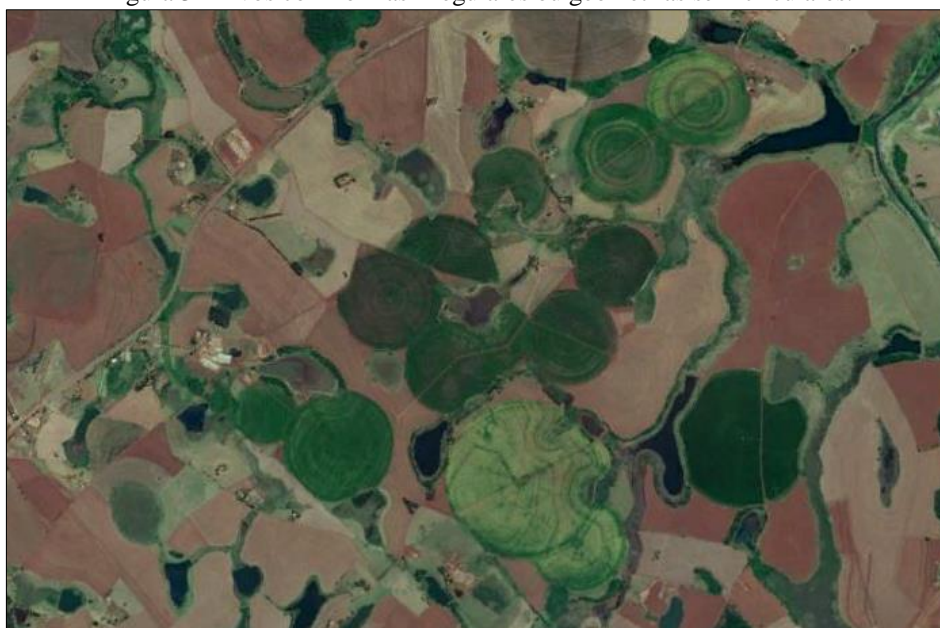
As formas mais utilizadas no mapeamento de pivôs centrais por imagens de satélite são a classificação visual e a classificação supervisionada de imagens. Na classificação visual, a identificação dos pivôs centrais é feita de maneira manual, na qual são adquiridas as imagens de satélite e os pivôs são delimitados pela sua geometria de maneira visual. Essa metodologia é simplificada e tem se mostrado efetiva, porém áreas de plantio de grãos ou de plantio direto com o uso de palhada podem encobrir a demarcação do pivô central, podendo resultar em erros de interpretação. O problema se agrava se a palhada for de milho, que assim como o trigo, possui alta refletância nos comprimentos de onda visível e infravermelho próximo, ao contrário da palha da soja ou do feijão (SANO; PINHATI, 2009).

Na classificação supervisionada, são definidas regras e um algoritmo extrai, de maneira semiautomática, as áreas circulares (pivôs). Essas técnicas automatizam o processo de extração de informações das imagens de satélite, eliminando a subjetividade da interpretação humana e reduzindo assim o esforço e probabilidade de erro do analista na interpretação da imagem. A classificação supervisionada proporciona uma maior agilidade para a análise de grandes extensões espaciais num elevado número de bandas e datas (MENESES; SANO, 2012). A principal desvantagem é que o analista impõe determinada estrutura de classificação de dados, pela definição prévia das classes de informação. Estas classes podem não corresponder às classes reais existentes na cena imageada, sendo necessária uma supervisão visual por parte do analista (CAMPBELL, 1996).

O sensoriamento remoto também é utilizado por agências governamentais para o planejamento de bacias hidrográficas e controle do uso da água em todo território nacional. A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico buscando atualizar informações sobre o balanço hídrico quantitativo nacional e fornecer dados para um melhor planejamento de gestão de recursos hídricos, publicou em 2016 o levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil. Nesse levantamento foi utilizada a metodologia de identificação visual com imagens de satélite de média e alta resolução disponibilizadas gratuitamente. Utilizando imagens do satélite Landsat 8 com resolução espacial de 15 metros (com fusão da banda pancromática) foi criado um mosaico com 381 cenas de imagens de satélite para cobrir todo o território nacional. Foram identificados 19.892 equipamentos, ocupando 1,275 milhão de hectares. Tais resultados apontam um crescimento de 43,3% da área ocupada por pivôs centrais em relação aos dados apresentados no Censo Agropecuário de 2006 que apontou 893 mil hectares (IBGE, 2006).

A ANA (2016) ainda destacou três aspectos quanto ao uso do sensoriamento remoto para mapeamento de pivôs centrais: a) Embora seja esperado um padrão geométrico de formas circulares, foram observadas diversas formas irregulares e padrões semicirculares; b) Pivôs possuem uma relativa mobilidade podendo ser pivôs rebocáveis, nos quais são observados duas áreas circulares mas apenas uma torre, o que pode induzir o analista ao erro; c) Em regiões com maior densidade de pivôs ou de maior fragmentação de propriedades é natural que ocorram maior número de formas irregulares ou semicirculares. Tais formas correspondem a pivôs de menor tamanho que buscam irrigar áreas remanescentes, como podemos observar na Figura 3.

Figura 3 - Pivôs com formas irregulares ou geometrias semicirculares.



Fonte: Google Earth, 2021.

No ano de 2019 a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico publicou a segunda edição do Mapeamento Nacional de Pivôs Centrais. Nesta edição, a ANA utilizou o sensoriamento remoto para mapear os pivôs centrais de 1985 a 2017 em todo o Brasil. Utilizando a metodologia de classificação visual de equipamentos, foram utilizadas imagens dos satélites Sentinel 2A, Sentinel 2B, Landsat 5 e Landsat 8. Para o mapeamento nos anos de 1985 a 2010 foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5, que teve sua operação durante esse período. O Satélite Landsat 8 foi lançado em 2013 e encontra-se operando, fornecendo imagens com qualidade superior ao seu antecessor para os mapeamentos de 2013 a 2017. Os satélites Sentinel 2A e Sentinel 2B começaram a fornecer imagens a partir de 2015, que foram utilizadas no levantamento de 2017. Além disso, é destacado no documento que havia 23.181 pivôs centrais no Brasil com 1,476 milhões de hectares ocupados com pivôs centrais em 2017. Tais dados mostram um crescimento de aproximadamente 14% em relação aos equipamentos existentes em 2014, tendência essa que deverá manter-se ou se intensificar no médio prazo (ANA, 2019).

4 METODOLOGIA

4.1 Área de estudo

Com o objetivo de realizar o mapeamento dos pivôs centrais no território da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema, nos anos de 1985 até 2019, foi escolhido o QGIS como o principal Sistema de Informação Geográfica (SIG). O QGIS é um *software* livre e projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). Após a escolha do *software* de trabalho tornou-se necessária a delimitação do território da UGRHI 17.

Para a delimitação da área de estudo, foram adquiridos *shapefiles* da malha municipal do Estado de São Paulo (2015) e o *shapefile* da UGRHI 17 (2011), ambos disponibilizados de maneira *online* pelo Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo (IGC) na plataforma digital do Governo do Estado de São Paulo o DataGeo.

Após a aquisição dos bancos de dados do IGC, realizou-se a reprojeção de ambos para o sistema de referência Sirgas 2000, e as coordenadas para UTM zona 22s. Após a reprojeção, foi realizada uma sobreposição do limite da UGRHI 17 sobre a malha municipal do Estado de São Paulo e um recorte entre os dois *shapefiles*. O resultado foi um *shapefile* com o limite da UGRHI 17 preenchido pela malha municipal do Estado de São Paulo. O processo de delimitação da área de estudo descrito acima foi apresentado na Figura 4.

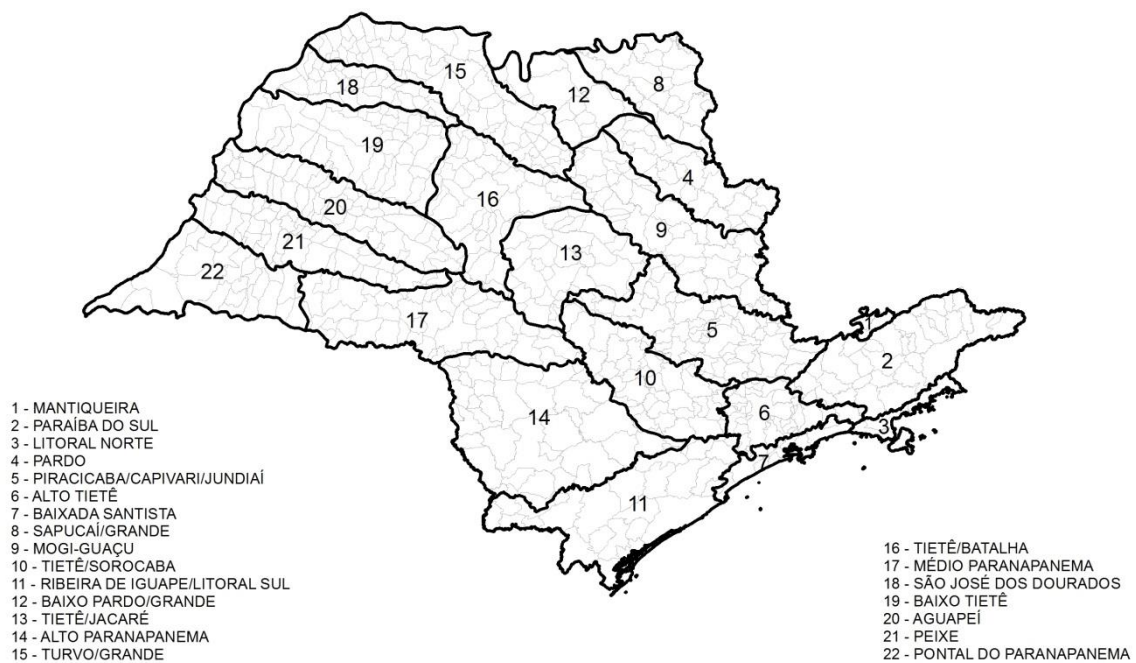
Figura 4 - Fluxograma do processo de delimitação da área de estudo.



Fonte: Autoria própria, 2020.

É importante salientar que existe diferença entre a Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema, o Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema e a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema. O conceito de bacia hidrográfica corresponde ao conjunto de terras drenadas por um corpo d'água e dos fluxos de sedimentos (SCHIAVETTI; CAMARGO, 2002), sendo a Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema a área drenada por seus corpos hídricos. O Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema é um órgão colegiado, consultivo e deliberativo, de nível estratégico, com atuação descentralizada e instituído pela Lei Estadual nº 7.663 de 1991 (CBH-MP, 2018). A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos é uma divisão hidrográfica que divide o Estado de São Paulo em 22 unidades instituída pela Lei Estadual nº 16.337 de 2016 (Figura 5).

Figura 5 - Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo.



Fonte: São Paulo, 2016.

O principal objetivo da UGRHI é promover um gerenciamento descentralizado dos recursos hídricos como previsto pela Política Nacional de Recursos Hídricos. Uma vez que o objetivo do estudo é o levantamento de informações que subsidiem tomadas de decisões para políticas públicas e usuários de recursos hídricos, e dessa forma, sendo a UGRHI 17 uma unidade político-administrativa de gestão de recursos hídricos, a mesma foi adotada para o recorte territorial do presente estudo.

4.2 Caracterização do território na UGRHI 17

Após a delimitação da área de estudo, foram realizadas pesquisas bibliográficas para caracterização do território da UGRHI 17. A caracterização teve por objetivo definir os limites administrativos da área de estudo e elaborar um diagnóstico ambiental de parâmetros que podem influir diretamente ou indiretamente na implantação de pivôs centrais.

A primeira caracterização realizada foi a dos municípios pertencentes a UGRHI 17 e os municípios que possuem parte do seu território na UGRHI 17, porém por possuírem sedes fora do território, tem a denominação de “municípios com área contida”. O levantamento dos municípios teve por objetivo a caracterização dos limites político-administrativos em que os pivôs centrais estão inseridos. É importante ressaltar que a área de estudo abrange apenas o território dentro da UGRHI 17.

O segundo passo da caracterização consistiu na caracterização da pluviosidade e do clima existente no território da UGRHI 17. Para essa caracterização, foi utilizada a base de dados da Classificação Climática de Köppen do Brasil adaptado para o território da UGRHI 17 (PEEL; FINLAYSON; McMAHON, 2007).

Após a caracterização do clima no território da UGRHI 17 foi caracterizada sua geologia e pedologia por meio de pesquisas bibliográficas. Foi elaborado um mapa pedológico do território da UGRHI 17 adaptado do Mapa Pedológico do Estado de São Paulo elaborado por Rossi (2017). O objetivo da caracterização pedológica foi uma posterior discussão sobre as características pedológicas nas áreas de pivô central.

A declividade influenciou diretamente na implantação de pivôs centrais, podendo ser um fator limitante, logo foi elaborado um mapa de declividade do território da UGRHI 17 utilizando como base o Modelo Digital de Elevação do Estado de São Paulo publicado pela Coordenadoria de Planejamento Ambiental do Estado de São Paulo – CPLA (2013). No processo de elaboração, o mapa seguiu a classificação de declividade proposta pela EMBRAPA (1979) que dividiu as classes de relevo em plano – declividade 0 a 3%, suave ondulado – declividade de 3 a 8%, ondulado – declividade de 8 a 20%, forte ondulado – declividade de 20 a 45%, montanhoso – declividade de 45 a 75% e escarpado – declividade acima de 75%.

Também foi realizada a caracterização do uso do solo no território da UGRHI 17. A caracterização do uso do solo teve como objetivo subsidiar a análise das culturas agrícolas existentes nas áreas irrigadas por pivôs centrais. Foi elaborado um mapa de uso do solo do território da UGRHI 17 que utilizou a base de dados de uso do solo do ano de 2019 do Projeto MAPBIOMAS (2020).

Para uma discussão sobre tipos de captações de pivôs centrais no território da UGRHI 17 foi analisado o potencial de captação subterrânea da área de estudo. Para isso, foi elaborado um mapa de unidades aquíferas da UGRHI 17 que teve como base cartográfica o levantamento de unidades aquíferas do estado de São Paulo elaborado pelo DAEE/IGC//IPT/CPRM (2005).

4.3 Mapeamento dos pivôs no território da UGRHI 17

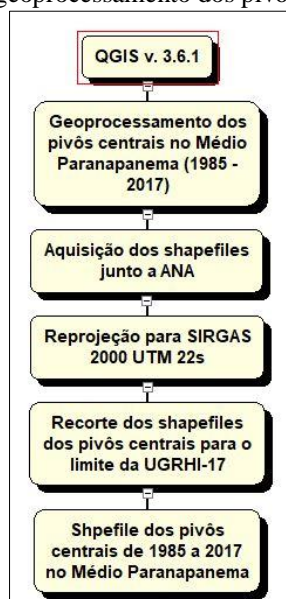
Após a delimitação da área de estudo, foi feito o mapeamento dos pivôs centrais existentes da UGRHI 17. Para os levantamentos dos anos de 1985 a 2017 a ANA (2019) utilizou a metodologia de identificação visual com imagens satélites Landsat 5 (1985 a 2010), Landsat 8 (2014 e 2017) e Sentinel 2A e 2B (2017).

O satélite Landsat 5 funcionou operacionalmente de 1985 a 2010, sendo a principal fonte de dados para mapeamentos históricos do período em questão. O satélite possuía seis bandas espectrais e uma banda pancromática do sensor TM. A composição colorida das bandas permite diferentes combinações para diferentes tipos de realce. O período de revisita é de 16 dias. A resolução espacial é de 30 metros e cada cena cobre uma área de 170 km por 185 km (ANA, 2019).

O satélite Landsat 8 foi lançado em 2013 e se encontra em operação. Com oito bandas e uma banda pancromática em seu sensor OLI, o satélite possui um maior leque de possibilidades para composições coloridas e realce de objetos. Com a fusão da banda pancromática em composições coloridas é possível alcançar uma resolução espacial de 15 metros. O período de revisita e a área coberta por cada cena são os mesmos do Landsat 5, sendo 16 dias e 170 km por 185 (ANA, 2019).

Para os anos de 1985, 1990, 2000, 2005, 2010, 2014 e 2017 foram utilizados os *shapefiles* dos mapeamentos dos pivôs centrais no Brasil, disponibilizados pela ANA em seu *site* oficial (2019). Os levantamentos apresentam informações como a localização dos pivôs por município e a área irrigada. Após a aquisição dos bancos de dados dos pivôs centrais no Brasil foi necessário, novamente, a reprojeção dos *shapefiles* para SIRGAS 2000 e coordenadas UTM 22s e o recorte para a área de estudo da UGRHI-17, feito como demonstrado na Figura 6.

Figura 6 - Fluxograma do processo de geoprocessamento dos pivôs centrais de 1985 a 2017 na UGRHI 17.



Fonte: Autoria própria, 2020.

Como os levantamentos da ANA vão apenas até o ano de 2017, optou-se por realizar um levantamento para o ano de 2019 com o objetivo da realização de um levantamento contemporâneo, uma vez que foi o ano de início de desenvolvimento da presente dissertação. Para o ano de 2019, foi necessária a identificação visual em imagens de satélite. Para isso, foram adquiridas imagens do satélite Landsat 2B do ano de 2019.

Foram utilizadas as imagens do satélite Sentinel 2B disponíveis gratuitamente pela USGS (United States Geological Survey). As imagens escolhidas englobam a área da UGRHI 17 no ano de 2019.

O Sentinel 2 é um satélite produzido pela Agência Espacial Europeia (ESA) e possui um sensor de 13 bandas e resolução radiométrica de 12 bits. O Sentinel 2 é capaz de visitar o mesmo ponto em 5 dias, o que garante uma continuidade de dados necessária para trabalhos de monitoramento. Cada cena possui uma área de 100 km² e foram necessárias 8 cenas para cobrir a área de estudo. A resolução espacial é de 10 metros (REX et al., 2018), sendo superior aos satélites Landsat 5 e Landsat 8, o que justifica a sua escolha.

Para uma boa identificação visual foram escolhidas imagens dos meses de estações mais secas (julho, agosto e setembro) que possuem menos de 10% de cobertura de nuvens. Esse último filtro visa facilitar a identificação dos pivôs centrais e reduzir ao máximo o erro de interpretação do analista.

Após a aquisição das 8 cenas do satélite Sentinel 2 foi realizada a composição colorida das imagens. Para elaboração de imagens de cor verdadeira em cada cena, realizou-se a fusão das bandas 4-3-2-8. A banda pancromática (banda 8) foi incorporada com objetivo de aumentar

a resolução da composição colorida de cor verdadeira. A Figura 7 exemplifica o resultado obtido em uma das cenas.

Figura 7 - Composição colorida com as bandas 4-3-2-8 do satélite SENTINEL 2B.



Fonte: United States Geological Survey, 2019.

Após a composição colorida, foi necessário a reprojeção para o DATUM Sirgas 2000 e das coordenadas para UTM zona 22 com o objetivo de manter um padrão entre os dados. Após a reprojeção iniciou-se o recorte e fusão das 8 composições coloridas para a área de estudo. O recorte tem como objetivo a delimitação da área de estudo da UGRHI 17 e a fusão permite a transformação do mosaico de imagens do Sentinel 2B em uma imagem única. O processo foi exemplificado na Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma do processo do tratamento de imagens do satélite Sentinel 2B para a UGRHI 17.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

É importante ressaltar que após a identificação de um pivô central o *software Google Earth Pro* foi utilizado para uma segunda checagem, buscando uma análise da base, também conhecida como “ponto pivô”, com o objetivo de identificar se o objeto se tratava de um pivô rebocável. Muitos sistemas possuem roda pneumática no centro (base ou “ponto pivô”), sendo denominados como pivôs rebocáveis, assim o agricultor tem a possibilidade de transportá-lo quando necessário e realizar a irrigação de áreas distantes entre si (EMBRAPA, 1983). Os pivôs rebocáveis podem induzir o analista ao erro, pois apresentam mais de uma área circular, porém apenas um equipamento.

Com o mosaico de imagens de cor verdadeira da UGRHI 17 do ano de 2019 foi possível aplicar a metodologia de identificação visual (fotointerpretação) com o objetivo de classificar somente as áreas irrigadas por pivô central no período de janeiro a dezembro de 2019.

Foram realizadas algumas análises referentes aos resultados encontrados com metodologia de identificação visual dos pivôs centrais no ano de 2019. A primeira análise realizada foi a relação precipitação *versus* agricultura irrigada. Essa análise teve como objetivo identificar *déficits* hídricos nos anos de crescimento do número de pivôs e área irrigada no território da UGRHI 17. Foram escolhidas estações meteorológicas oficiais do Estado de São Paulo com boa qualidade de dados espalhadas dentro do território da UGRHI 17 para representatividade. Os dados de precipitação mensal dos anos de 2017, 2018 e 2019 foram somados para obtenção da precipitação anual, logo após foi feita uma média das três precipitações anuais e encontrada a precipitação média plurianual 2017-2019 (mm). As precipitações médias mensais históricas foram somadas e encontrou-se a precipitação média

plurianual histórica (mm). Por último, foi realizado um comparativo entre as duas médias (2017-2019 *versus* série histórica).

A segunda análise feita foi um comparativo entre as metodologias de análise visual e análise semiautomática supervisionada. Para isso, foi escolhido um mesmo território e executada as duas metodologias de análise de dados de sensoriamento remoto para que os resultados pudessem ser comparados. Para representar a metodologia de análise semiautomática supervisionada foi escolhida a metodologia ATDB do MAPBIOMAS (2020), pois trata-se de uma das metodologias de análise de dados de imagens de satélite com referência mundial. Para realizar esse comparativo foi adotado como métrica a área irrigada do município de Santa Cruz do Rio Pardo, uma vez que a área irrigada é o parâmetro adotado para demonstração de resultados do MAPBIOMAS e o município de Santa Cruz do Rio Pardo possui uma quantidade de pivôs significativa dentro do território da UGRHI 17 fornecendo uma boa referência amostral.

Outra análise realizada foi a da quantidade de pivôs centrais instalados em cada Unidade de Planejamento Hídrica da UGRHI 17 no ano de 2019. Para delimitação das UPH's foi utilizada a base cartográfica existente no Plano de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (2018). O mapa de UPH divide o território da UGRHI 17 em 4 unidades sendo Capivara, Pari/Novo, Pardo e Turvo e suas delimitações levam em consideração os rios que dão nome às unidades de planejamento. Após a delimitação das quatro UPH's realizou-se a sobreposição dos pivôs centrais na UGRHI 17 no ano de 2019 e foi gerado a base cartográfica presente nessa dissertação.

Alguns dados não são possíveis de serem obtidos por sensoriamento remoto e não estão disponíveis em fontes oficiais, dessa forma, foram realizadas consultas às principais revendas de pivô central da UGRHI 17 para coleta de informações. Também foram feitas consultas em campo a produtores rurais do território da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema.

Com o material cartográfico e as consultas de campo, foram também realizadas pesquisas bibliográficas sobre agricultura irrigada e pivôs centrais que embasaram cientificamente as discussões e análises presentes na tese.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Diagnóstico ambiental da UGRHI 17

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema possui uma área territorial de 16.749 km² e limita-se geograficamente ao leste com a UGRHI 10 (Rio Sorocaba e Médio Tietê); ao norte com a UGRHI 13 (Tietê/Jacaré), 16 (Tietê/Batalha), 20 (Aguapeí) e 21 (Peixe); a oeste com a UGRHI 22 (Pontal do Paranapanema) e ao sul com a UGRHI 14 e o Estado do Paraná (Figura 9).

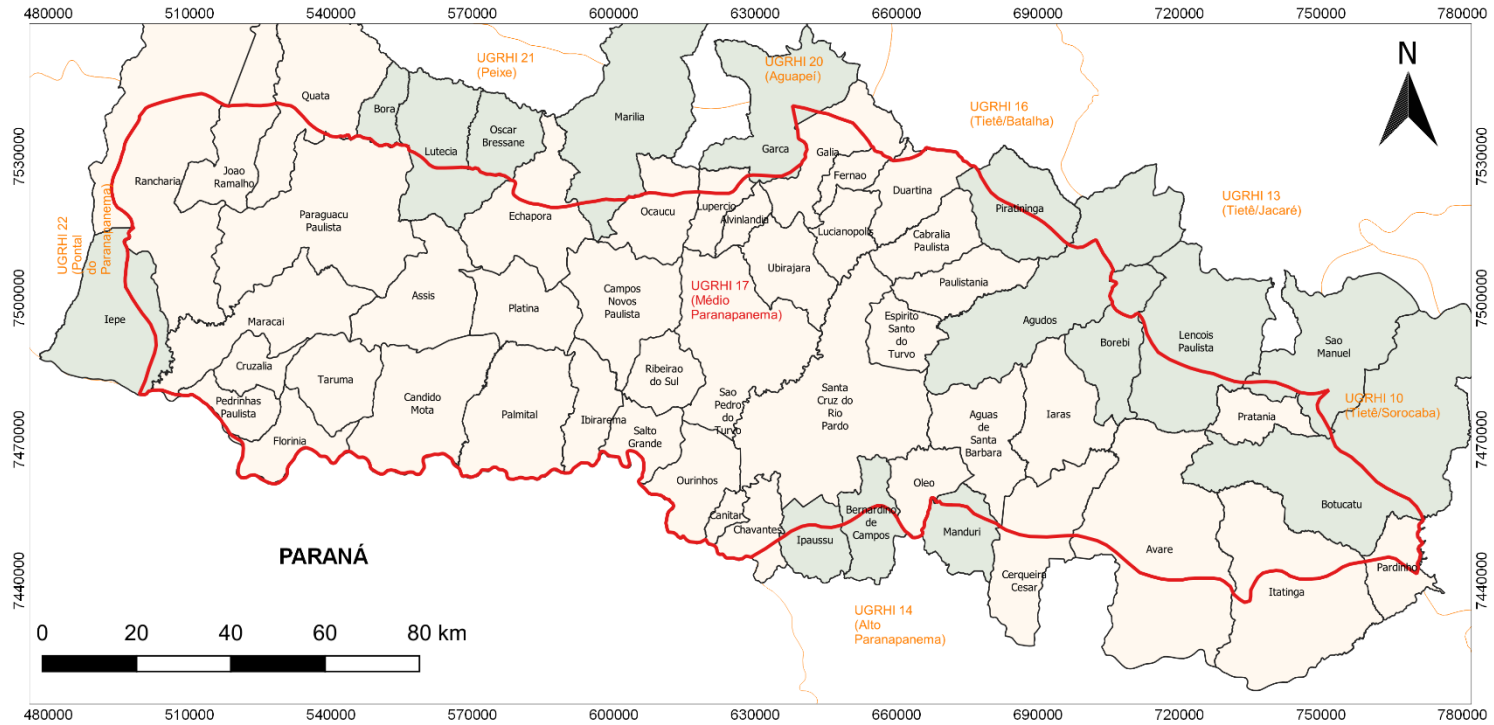
A UGRHI 17 é integrada por 42 municípios que possuem sua sede municipal dentro dos limites de seu território, sendo eles: Águas de Santa Bárbara, Alvinlândia, Assis, Avaré, Cabrália Paulista, Campos Novos Paulista, Cândido Mota, Canitar, Cerqueira César, Chavantes, Cruzália, Duartina, Echaporã, Espírito Santo do Turvo, Fernão, Florínea, Gália, Iaras, Ibirarema, Itatinga, João Ramalho, Lucianópolis, Lupércio, Maracaí, Ocaçu, Óleo, Ourinhos, Palmital, Paraguaçu Paulista, Pardinho, Paulistânia, Pedrinhas Paulista, Platina, Pratânia, Quatá, Rancharia, Ribeirão do Sul, Salto Grande, Santa Cruz do Rio Pardo, São Pedro do Turvo, Tarumã e Ubirajara.


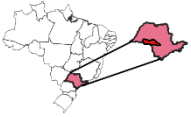
Outros 13 municípios são considerados “municípios com área contida” denominação essa dada a municípios que possuem parte de seu território dentro da UGRHI 17, porém, por possuírem sede fora da UGRHI 17 não integram o CBH-MP (CBH-MP, 2018). Sendo eles: Agudos, Bernardino de Campos, Borebi, Botucatu, Garça, Iepê, Ipaussu, Lençóis Paulista, Lutécia, Manduri, Marília, Piratininga, São Manuel. É importante ressaltar que o mapeamento dos pivôs centrais levou em consideração apenas os pivôs dentro da área da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema.

A UGRHI do Médio Paranapanema é dividida em 4 Unidades de Planejamento Hídricas, denominadas UPH Capivara, UPH Pari/Novo, UPH Turvo e UPH Pardo. Tais Unidades têm como limite os principais rios da UGRHI 17, sendo eles: Capivara, Pari, Novo, Turvo e Pardo. As unidades foram criadas com o objetivo de setorizar e facilitar o planejamento hídrico da UGRHI.

Figura 9 - Mapa de municípios integrantes e de área contida da UGRHI 17.

Municípios da UGRHI 17



<p>Legenda</p> <ul style="list-style-type: none"> Limites das UGRHI's UGRHI 17 Municípios da UGRHI 17 Municípios com área contida Municípios pertencentes a UGRHI 17 	<p>Software: Qgis 3.6 Base Cartográfica: CBH-MP Sistema de Coordenadas Geográficas: UTM DATUM Sirgas 2000 Organização: BERTOLI, J. G. C.; RIZK, M. C. (2020)</p>		
---	---	---	---

Fonte: Autoria própria, 2020.

Na UGRHI do Médio Paranapanema há a Usina Hidrelétrica Chavantes, a Usina Hidrelétrica Capivara, a Usina Hidrelétrica de Salto Grande, Usina Hidrelétrica Canoas I e II e a Usina Hidrelétrica de Ourinhos, evidenciando uma das vocações regionais que é a geração de energia hidrelétrica (CBH-MP, 2018).

Quanto a demografia, a UGRHI-17 possui 683.874 habitantes com 92,1% em área urbana e 7,9% em área rural. Nas áreas urbanas, a principal atividade econômica é a dos setores do serviço e comércio. As indústrias estão concentradas nas cidades de Assis e Ourinhos, pois são as maiores cidades e com maior núcleo urbano. A agricultura e pecuária são as atividades mais expressivas nas áreas rurais, com destaque para forte expansão das lavouras de cana-de-açúcar e indústrias sucroalcooleiras.

As lavouras temporárias possuem maior expressão no território do Médio Paranapanema, tendo a cana-de-açúcar, milho e soja como principais produtos. Em 2012 a UGRHI 17 produzia 379.327 ha de cana-de-açúcar em 37 dos 42 municípios pertencentes a unidade hidrográfica, representando 48% da área total utilizada para agricultura temporária. A produção de milho representa 21% do total das culturas da UGRHI e é cultivado em todos municípios de forma rotativa com a soja, que também representa 21% do total das culturas da UGRHI, podendo-se destacar os municípios de Candido Mota, Maracaí e Palmital. Existem outras culturas temporárias de menor expressão como mandioca, arroz, aveia, batata, feijão, mamão, melancia, sorgo, tomate, trigo e uva (CBH-MP, 2018).

As lavouras permanentes representam apenas 6% da área agricultável da UGRHI 17, com destaque para a cultura de laranja que representa 64% da área plantada dentre as culturas permanentes e café com 30% da área plantada. Existem também outras culturas permanentes em menor expressão que integram os outros 6% como: abacate, banana, borracha, caqui, coco, goiaba, limão e manga (CBH-MP, 2018).

O comportamento pluviométrico na UGRHI 17 é marcadamente influenciado por dinâmicas climáticas de escala global e regional. A precipitação média anual vai de 1380 mm a 1530 mm e é acima da média em anos de ocorrência de El Niño e é abaixo da média em anos de ocorrência de La Niña (CARVALHO; NERY, 2012). Em toda a território da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o trimestre mais seco vai de julho a agosto e o mais úmido de dezembro a fevereiro.

O sistema de classificação climática de Köppen parte do pressuposto que a vegetação natural é a melhor expressão do clima da região e é amplamente utilizado atualmente, seja em sua forma original ou com adaptações (FRANCISCO et al., 2015). Segundo a classificação

climática de Köppen, a UGRHI 17 está compreendida entre o clima temperado úmido com verão quente (Cfa) e o clima temperado úmido com inverno seco e verão quente (Cwa).

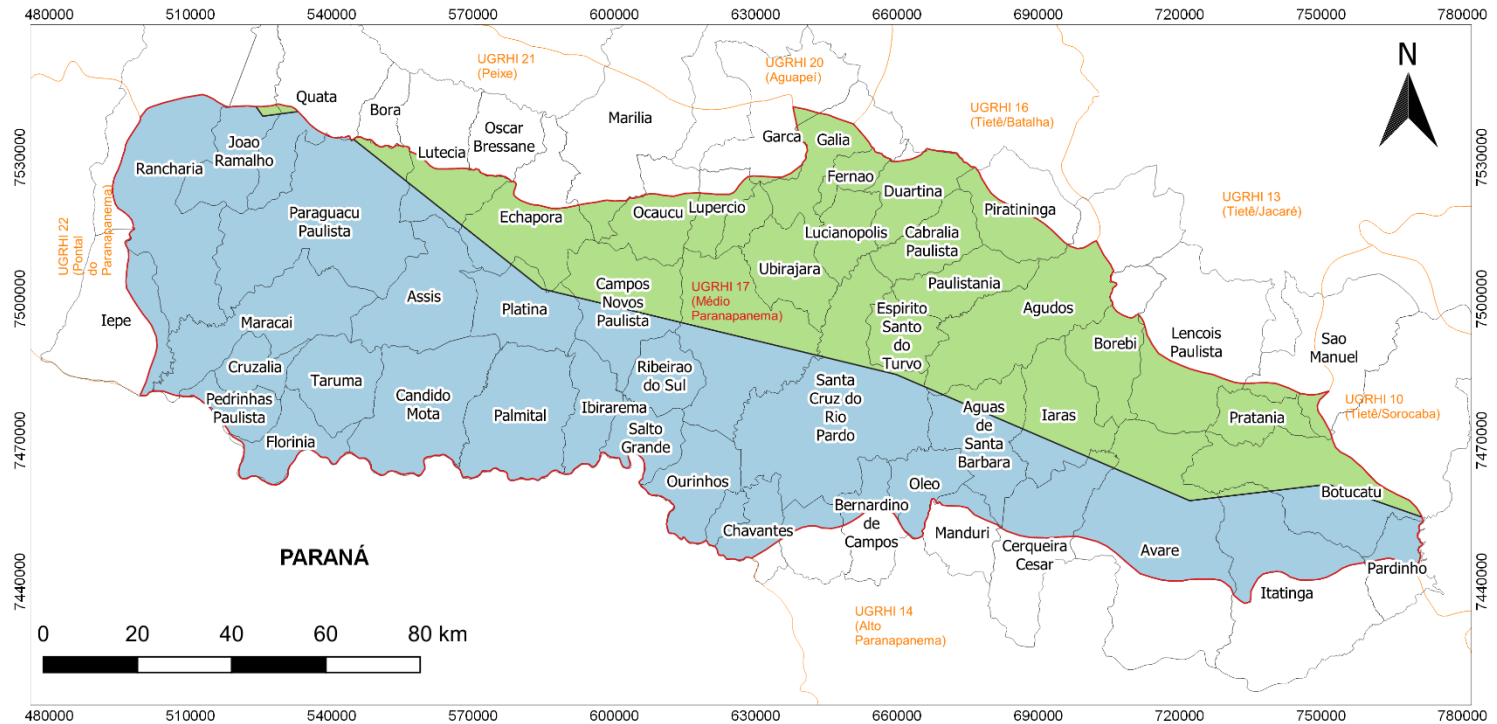
A Figura 10 trata de uma adaptação da classificação climática de Köppen-Geiger, atualizada em 2007 para a área da UGRHI 17 (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007).

O clima Cfa é caracterizado por ser um clima temperado e úmido com temperatura média do mês mais quente sendo superior a 22 °C e temperatura média no mês mais frio inferior a 18 °C e com mais de 30 mm de chuva no mês mais seco. O clima Cwa possui inverno seco com temperaturas inferiores a 18 C e verão quente com temperatura superior a 22 °C.

Deve-se levar em consideração que a classificação climática de Köppen varia de períodos em períodos, uma vez que o clima é dinâmico e o estado de São Paulo está localizado em uma área de transição climática entre os sistemas tropicais e polares (JURCA, 2005).

Figura 10 - Mapa de classificação climática de Köppen na UGRHI 17.

Classificação Climática de Köppen na UGRHI 17



<p>Legenda</p> <p> Limites Municipais Clima (Koppen) Cfa Limites das UGRHI's Clima (Koppen) Cwa UGRHI 17 </p>		<p>Software: Qgis 3.6 Base Cartográfica: PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; McMAHON, T. A. (2007) Sistema de Coordenadas Geográficas: UTM DATUM Sirgas 2000 Organização: BERTOLI, J. G. C.; RIZK, M. C. (2020)</p>		
--	--	---	--	--

Fonte: Autoria Própria, 2020.

As unidades litoestratigráficas aflorantes da UGRHI 17 são constituídas de rochas sedimentares e ígneas da bacia do Paraná, de idade predominantemente mesozoica e depósitos sedimentares recentes, de idade cenozoica, sendo eles: Grupo Passa Dois (Paleozóico) – Formação Teresina; Grupo São Bento (Mesozóico) – Formação Pirambóia e Serra geral; Grupo Bauru (Mesozóico) – Formação Adamantina e Marília; Depósitos Cenozóicos. Das unidades citadas, o Grupo Bauru é o que possui maior porcentagem sobre área de afloramento na UGRHI com 60,67%, seguido do Grupo São Bento com 39,05% e, com menor expressão, os Depósitos Cenozóicos e Grupo Passa Dois com 0,27 e 0,01% respectivamente (CBH-MP, 1999).

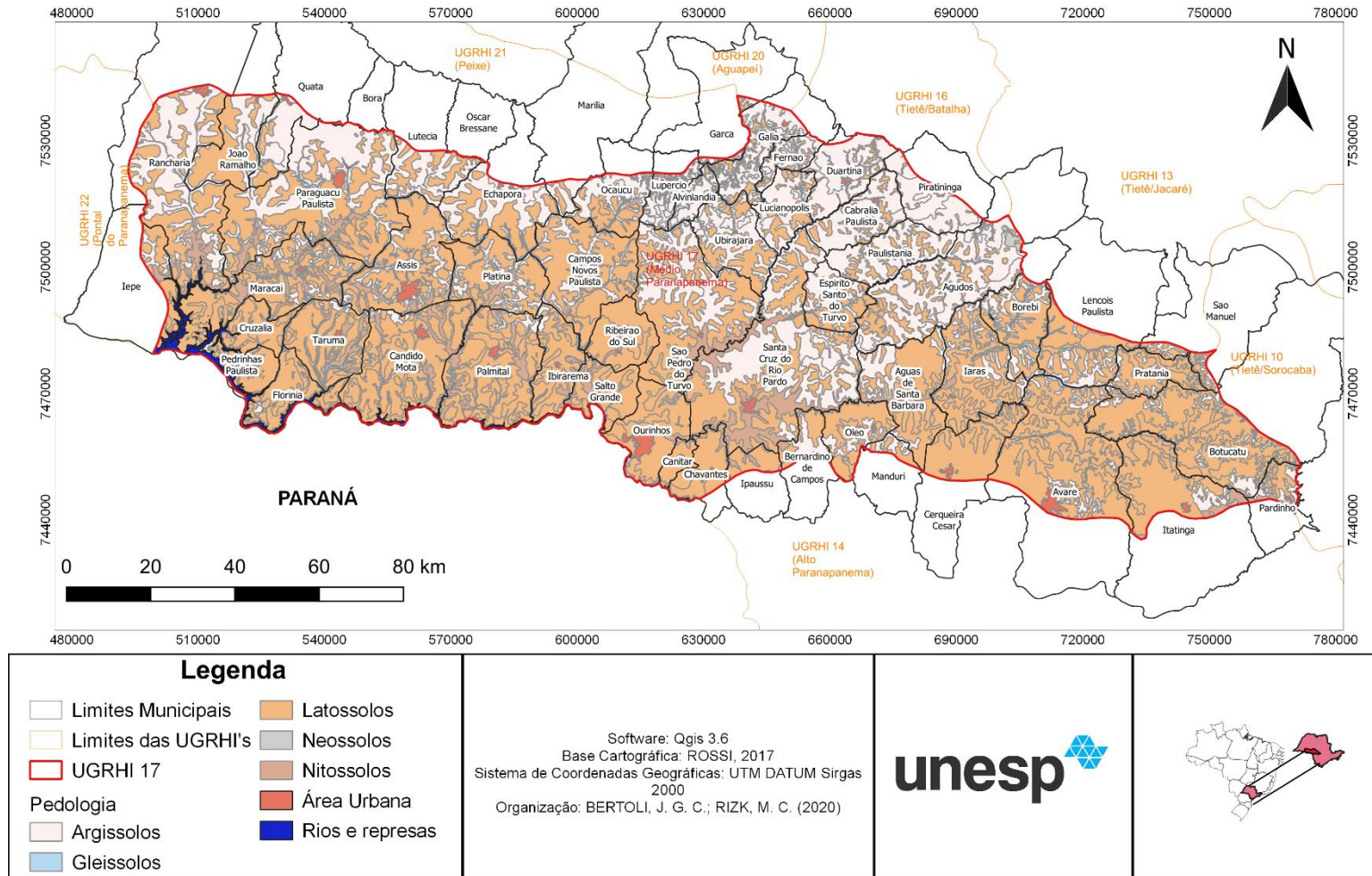
A pedologia da UGRHI 17 é denominada por latossolos, argissolos, neossolos, nitossolos e neossolos. Com base no Mapa Pedológico do Estado de São Paulo elaborado por Rossi (2017), a Figura 11 apresenta um detalhamento da distribuição das diferentes classes citadas em escala de aproximadamente 1:1.000.000, adaptadas para a área de estudo.

A maior parte da área da UGRHI 17 está coberta com latossolos. Os latossolos são solos de coloração avermelhada, laranjada ou amarelada, profundos, porosos, friáveis e de textura variável. A cor do latossolo é variável conforme a quantidade de óxido de ferro presente. São solos que, por serem bastante intemperizados, apresentam uma morfologia uniforme ao longo do perfil, apresentando uma transição entre os horizontes bem difusa, com pequeno escurecimento nos horizontes superficiais devido à presença de matéria orgânica. Os latossolos possuem teor de silte inferior a 20% e a argila varia entre 15% e 80% e possuem alta permeabilidade de água, podendo ser trabalhados em grande amplitude de umidade (SILVA; SILVA; CAVALCANTI, 2005).

Os latossolos geralmente estão situados em relevo plano a suave-ondulado, com declividade que raramente ultrapassa 7%. Os latossolos respondem bem a aplicação fertilizantes e corretivos, que aliados a boas práticas de uso e conservação do solo podem ser obtidas boas produções agrícolas (KER, 1997). O potencial agrícola aliado a topografia favorável torna o latossolo propício a mecanização e implantação de pivôs centrais.

Figura 11 - Mapa Pedológico da UGRHI 17.

Pedologia da UGRHI 17



Fonte: Autoria própria, 2020.

O argissolo também está presente em grande parte da UGRHI 17 e juntamente com o latossolo representa uma das ordens mais extensas do Brasil, sendo verificados em praticamente todas as regiões e domínios pedobioclimáticos. Em áreas planas, os argissolos são solos mais profundos e com horizontes bem desenvolvidos. Os argissolos apresentam baixa fertilidade natural e forte acidez, por isso necessitam de correção prévia à atividade agrícola. Diferentemente dos latossolos, os argissolos geralmente acompanham boa diferenciação de cores entre o horizonte A para o subsuperficial B (IBGE, 2007).

Com uma participação considerável no território da UGRHI 17, os nitossolos são solos que praticamente não apresentam diferenciação de coloração entre seus horizontes. São solos argilosos com estruturação que favorecem a retenção de água, mas que também mantêm uma boa drenagem (COOPER; VIDAL-TORRADO, 2005).

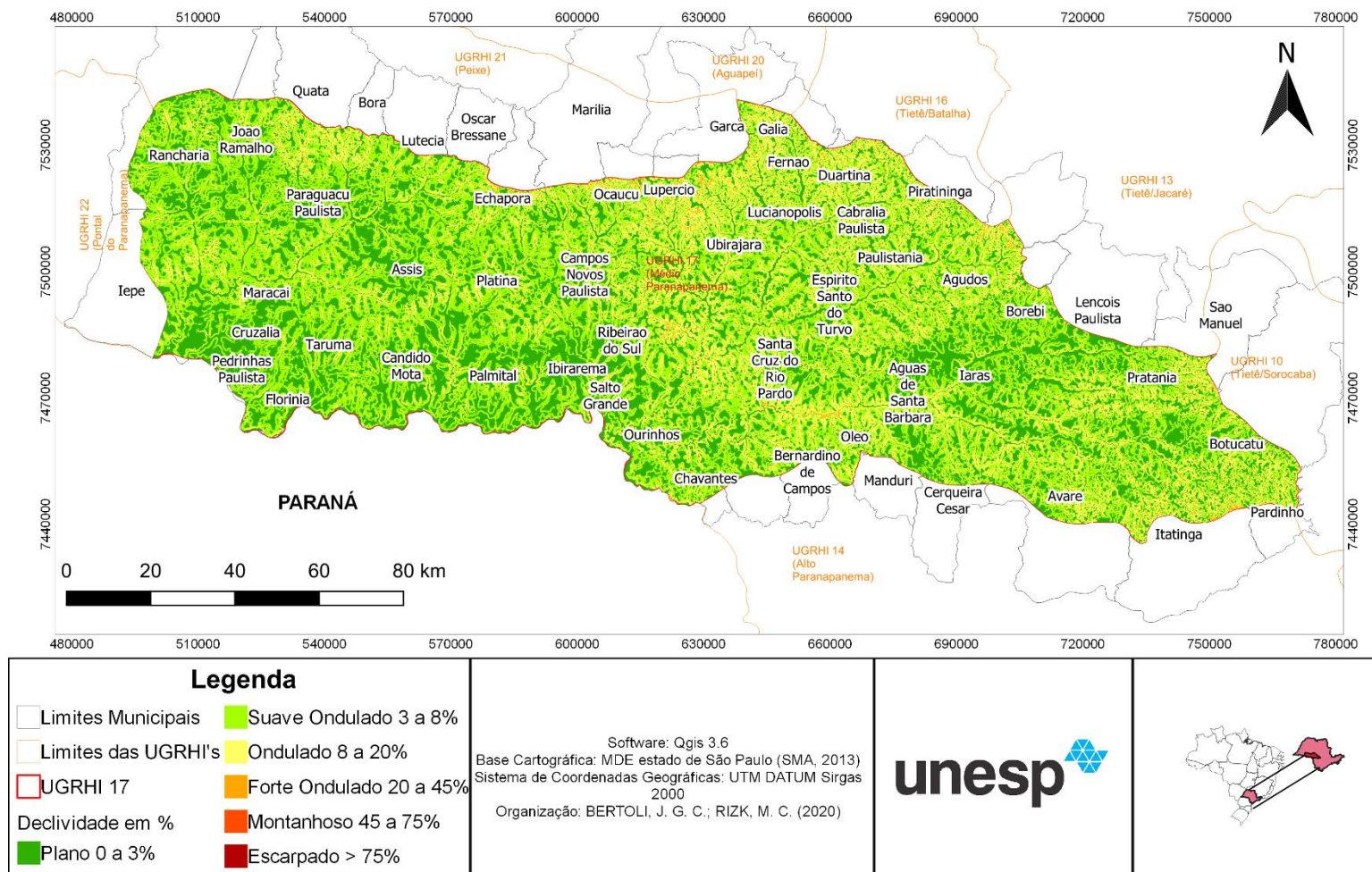
Em menor ocupação na UGRHI 17, os neossolos são solos poucos evoluídos constituídos por material mineral ou por material orgânico com menos de 20 cm de espessura, não apresentando horizonte B diagnóstico (EMBRAPA, 2018). A implantação de pivôs centrais sob neossolos é bem empregada em locais planos apresentando boa aptidão agrícola, porém em regiões declivosas e com textura arenosa são altamente suscetíveis à erosão, sendo imprescindível o emprego de técnicas conservacionistas aliadas a irrigação.

Assim como os neossolos, os gleissolos também estão presentes em menor proporção dentro do território da UGRHI 17. De acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2018), os gleissolos são solos hidromórficos, constituídos por material predominantemente mineral, com horizonte glei de coloração cinza característica e iniciando-se nos primeiros 150 cm de superfície. Os gleissolos estão constantemente ou periodicamente inundados. São solos comumente encontrados nas proximidades de cursos d'água e apresentam baixa fertilidade natural e problemas de acidez com teores elevados de alumínio, sódio e enxofre.

Outro fator de importante caracterização para o entendimento da ocupação dos pivôs centrais é a declividade do terreno, uma vez que é uma característica que influi diretamente sobre a tomada de decisão da implantação do equipamento. Para caracterização da declividade da UGRHI 17 foi utilizado como base digital o Modelo Digital de Elevação do Estado de São Paulo em base contínua (CPLA, 2013). O resultado é apresentado na Figura 12.

Figura 12 - Mapa de Declividade da UGRHI 17.

Declividade da UGRHI 17



Fonte: Autoria Própria, 2020.

A determinação da declividade na UGRHI 17 seguiu a proposta de classes de declividade da EMBRAPA (1979), que divide o relevo em Plano, Suave Ondulado, Ondulado, Forte Ondulado, Montanhoso e Escarpado.

A declividade é a inclinação do relevo em relação ao plano horizontal. Esse parâmetro físico é uma das principais características geomorfológicas limitantes à utilização da agricultura mecanizada, pois afeta diretamente a velocidade de deslocamento e estabilidade do maquinário. Podemos observar que a área de estudo, em sua totalidade, está compreendida entre relevo plano com declividade até 3% e suave ondulado com declividade de 3% a 8%, caracterizando-se assim em uma área propícia para a mecanização agrícola e implantação de pivôs centrais.

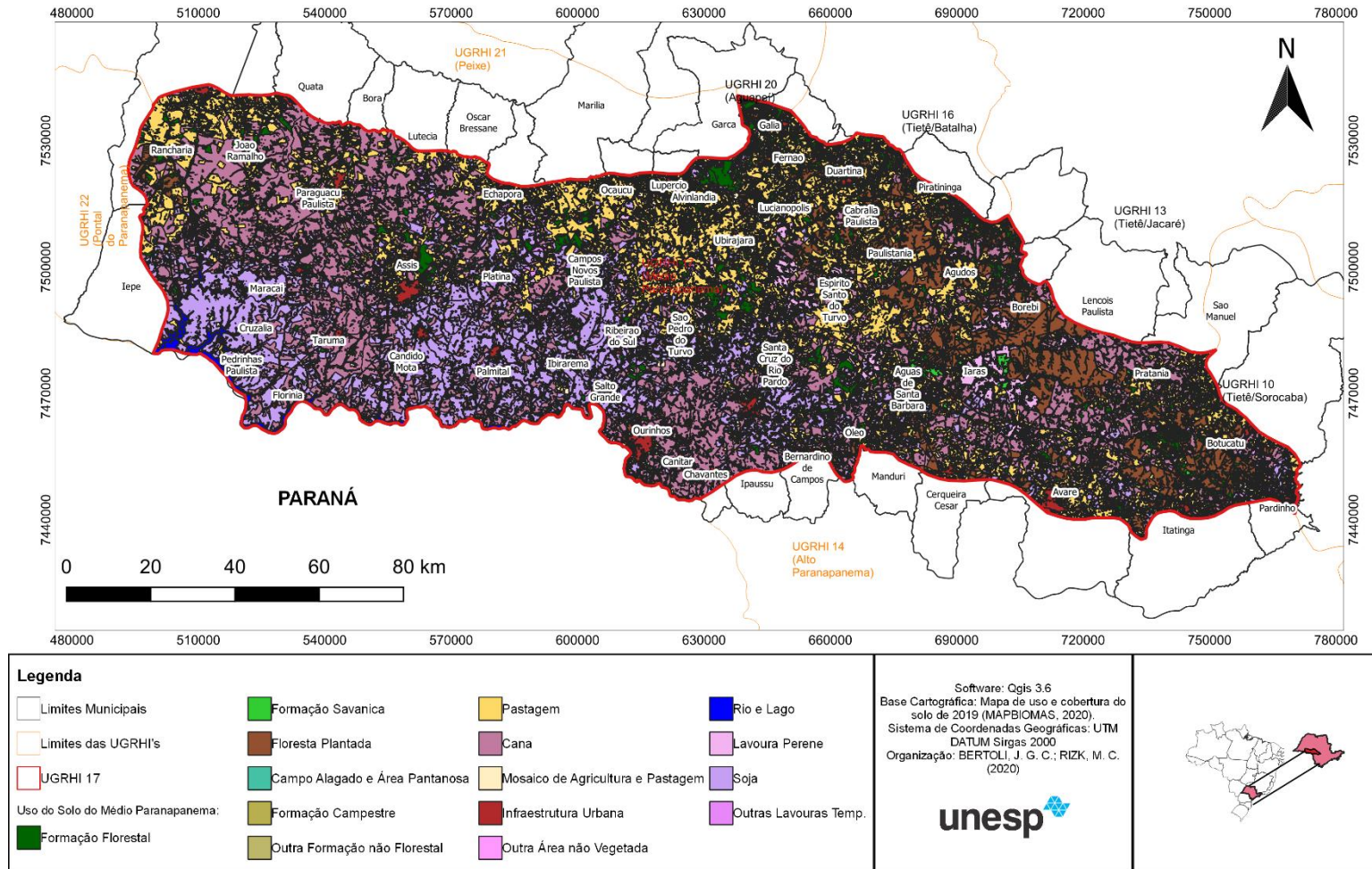
De acordo com Garcia (1988), há sistemas de pivô central capazes de trabalhar em terrenos com até 30% de declividade, ou seja, é possível a implantação de pivôs centrais em relevos do tipo forte ondulado. O principal problema ligado a implantação de pivôs centrais em terrenos declivosos é o processo erosivo do solo.

Por último, para um maior entendimento dos pivôs centrais, deve-se caracterizar o uso e cobertura da terra, para que seja possível visualizar sob quais culturas estão sendo implantados os sistemas de irrigação. O mapeamento do uso e cobertura da terra tornou-se essencial para a compreensão dos padrões de disposição do espaço, sendo necessária uma constante atualização dos dados de uso e ocupação para que seja possível uma análise de tendências com o objetivo fornecer informações que subsidiem políticas públicas (ALVES; CONCEIÇÃO, 2015).

Para elaboração do Mapa de Uso e Cobertura da Terra da área de estudo utilizou-se a base cartográfica da coleção 5 do projeto MAPBIOMAS (2020), que divide a cobertura em categorias que vão desde formações florestais a áreas de cana-de-açúcar, soja e outras culturas. O projeto MAPBIOMAS utiliza imagens de satélite para sensoriamento remoto e possui uma extensa base cartográfica para cobertura da terra no Brasil, possuindo levantamentos de 1985 a 2019, sendo o ano de 2019 utilizado como base cartográfica (Figura 13).

Figura 13 - Mapa de Uso e Cobertura da Terra na UGRHI 17.

Uso e cobertura da terra na UGRHI 17 (2019)



Fonte: Autoria Própria, 2020.

É importante apresentar as definições das divisões de classes elaboradas pela base cartográfica do MAPBIOMAS (2020) presentes no mapa acima, sendo elas:

- (a) Formação Florestal: Tipos de vegetação com predomínio de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo. Áreas de Floresta Estacional Semidecidual e formações pioneiras arbóreas.
- (b) Formações Savânicas: Formações savânicas com estratos arbóreos arbustivo-herbáceos definidos (Cerrado Sentido Restrito: Cerrado denso, Cerrado típico, Cerrado ralo, Cerrado rupestre), bem como Savanas.
- (c) Floresta Plantada: Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais.
- (d) Campo Alagado e Área Pantanosa: Vegetação herbácea com predomínio de gramíneas sujeitas ao alagamento permanente ou temporário, de acordo com os pulsos naturais de inundação.
- (e) Formação Campestre: Formações campestres com predominância de estrato herbáceo (campo sujo, campo limpo e campo rupestre) bem como áreas de pioneiras arbustivas e herbáceas.
- (f) Outra Formação não Florestal: Áreas de várzea e restinga herbácea.
- (g) Pastagem: Áreas de pastagens, naturais ou plantadas, vinculadas a atividade agropecuária.
- (h) Cana: Áreas com plantio de cana-de-açúcar.
- (i) Mosaico de Agricultura e Pastagem: Áreas de uso agropecuário no qual não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura
- (j) Infraestrutura Urbana: Áreas urbanizadas com predomínio de superfícies não vegetadas, incluindo estradas, vias e construções.
- (k) Outras Áreas Não Vegetadas: Áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.
- (l) Rio e Lago: Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.
- (m) Lavoura Perene: Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (mais de um ano), que permitem colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio.
- (n) Soja: Áreas cultivadas com a cultura da soja.
- (o) Outras Lavouras Temporárias: Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir.

Conforme pôde ser visto, a Figura 13 demonstrou o uso e cobertura da terra em diferentes classes na UGRHI 17. Por se tratar de uma grande área, com muitas variações de tipos de uso e cobertura da terra, o mapa pode aparentar certa dificuldade de visualização, devido à grande quantidade de dados que o mesmo carrega quando se divide o território de 55 municípios em 15 classes diferentes de uso e cobertura da terra, deixando o mapa com um nível de detalhes muito grande em uma escala pequena. Caso as classes fossem alteradas e reduzidas para deixar o mapa mais “limpo” visualmente, o objetivo da representatividade das diferentes classes de uso e cobertura da terra se perderia.

O mapa de uso e cobertura da terra e o uso do SIG permitiram atestar quais culturas estavam presentes em maior e menor área dentro da UGRHI 17, bem como demais ocupações. Com isso, foi possível elaborar análises estatísticas de áreas ocupadas por cada classe. A Tabela 1 apresenta a área em m², ha e km² das categorias de uso e cobertura da terra da área de estudo.

Tabela 1 - Uso e cobertura da terra na UGRHI 17 em 2019.

Classe	Área (m ²)	Área (ha)	Área (km ²)
Floresta Plantada	1.468.797.177	146.879,72	1.468,79
Outras Lavouras Temporárias	573.891.087	57.389,11	573,89
Formação Savânica	252.965.387	25.296,54	252,96
Soja	2.755.605.022	275.560,50	2.755,60
Lavoura Perene	378.747.868	37.874,79	378,74
Rio e Lago	149.850.497	14.985,05	149,85
Formação Florestal	1.646.748.472	164.674,85	1.646,74
Outra Área não Vegetada	23.140.001	2.314,00	23,14
Infraestrutura Urbana	172.070.179	17.207,02	172,07
Mosaico de Agricultura e Pastagem	1.102.528.845	110.252,88	1.102,52
Cana	3.948.472.052	394.847,21	3.948,47
Pastagem	3.932.047.393	393.204,74	3.932,04
Outra Formação não Florestal	35.778.954	3.577,90	35,77
Formação Campestre	339.109.305	33.910,93	339,10
Campo Alagado e Área Pantanosa	92.730	9,27	0,09
Total	16.779.844.969,00	1.677.984,50	16.779,84

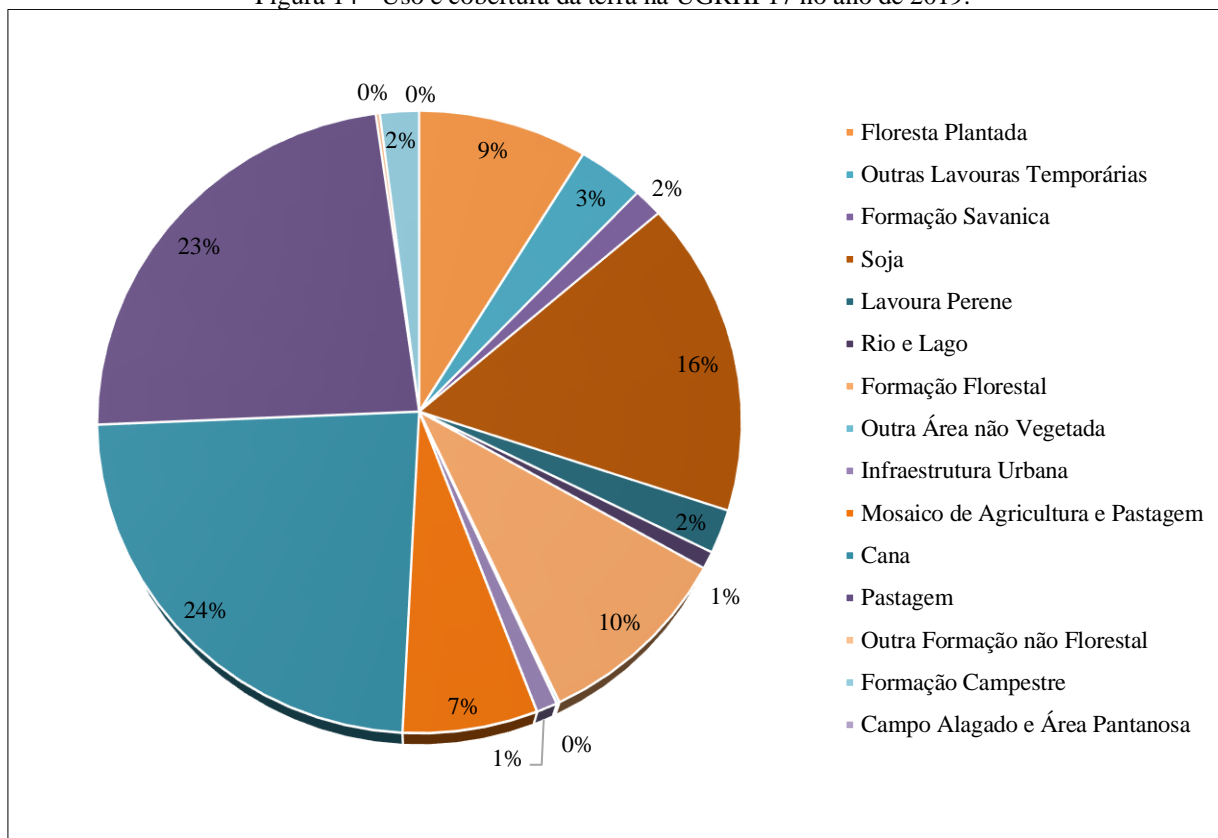
Fonte: Autoria Própria, 2020.

A área total em km² da UGRHI 17, determinada com o processamento das imagens de satélite da coleção 5 do MAPBIOMAS (2020), foi de 16.779,84 km², próxima ao valor do Plano de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema de 16.749 km². Tal fato atesta confiabilidade dos dados.

De acordo com os resultados obtidos, podemos observar que a cana-de-açúcar junto as áreas de pastagem possuem a maior ocupação na área de estudo. Tal resultado reforça a forte vocação agropecuária do território da UGRHI 17. Também aparece em grande expressão a ocupação por soja, formações florestais e áreas de floresta plantada.

A Figura 14 apresenta um gráfico de uso e cobertura da terra na UGRHI 17 no ano de 2019, em porcentagem, com o objetivo de ilustrar quais classes estão presentes em maior quantidade dentro do território.

Figura 14 - Uso e cobertura da terra na UGRHI 17 no ano de 2019.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

A cana-de-açúcar detém a maior área ocupada da UGRHI 17 com 3.948,47 km² plantados (23,53%), seguida de pastagem com 3.932,04 km² (23,43%) e soja com 2.755,60 km² plantados (16,42%).

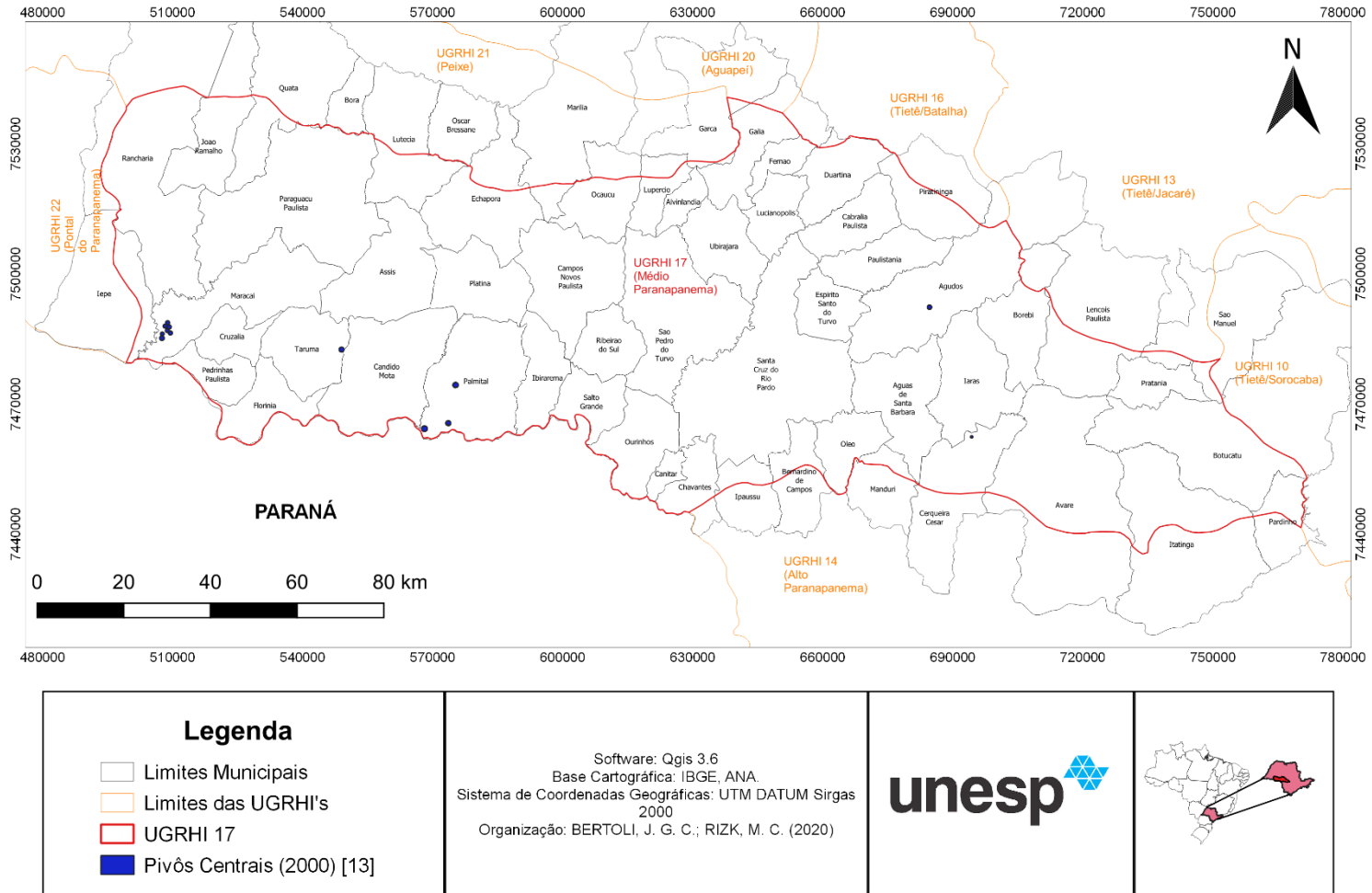
5.2 Mapeamento dos pivôs na UGRHI 17

Inicialmente, foi diagnosticado que não existiam pivôs centrais na UGRHI 17 entre os anos de 1985 e 1990, portanto, não foram elaborados mapas e análises sobre os pivôs centrais nesse período.

A Figura 15 ilustra os resultados obtidos para o mapeamento de pivôs centrais no ano de 2000.

Figura 15 - Mapa de localização dos pivôs centrais no ano de 2000 na UGRHI 17.

Pivôs Centrais na UGRHI 17 (2000)



Fonte: Autoria Própria, 2020.

Podemos notar que no ano de 2000 a quantidade de pivôs centrais na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema era baixa, uma vez que estavam presentes em apenas 5 dos 55 municípios que possuem área dentro da UGRHI 17. A Tabela 2 mostra a quantidade de equipamentos total e por município e a área irrigada total e por município.

Tabela 2 - Pivôs centrais na UGRHI 17 em 2000.

Município	Área irrigada (ha)	Nº de pivôs centrais
Agudos	83,64	1
Cerqueira César	26,36	1
Maracaí	503,75	7
Palmital	376,26	3
Tarumã	105,61	1
Total	1095,62	13

Fonte: Elaborado a partir de dados disponíveis em ANA (2019).

O município de Maracaí despontava com 7 pivôs centrais (53%), seguido de Palmital com 3 (23,07%) e Agudos, Cerqueira César e Tarumã com 1 pivô cada (7,69%) cada. Maracaí também possuía a maior área irrigada no ano de 2000 com 503,75 ha (42,97%), seguido de Palmital com 376,26 ha (34,34%). Podemos observar que os municípios de Agudos, Cerqueira César e Tarumã, apesar de possuírem apenas 1 pivô central cada, possuíam áreas irrigadas com 83,64 ha (7,63%), 26,36 ha (2,40%) e 105,61 ha (9,63%), respectivamente. Tal fato atesta que os equipamentos podem ser adaptados para diferentes áreas. No total, foram mapeados 13 pivôs centrais na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema com área irrigada de 1095,62 ha.

A Figura 16 ilustra o mapeamento dos pivôs centrais na UGRHI 17 no ano de 2005.

O levantamento apontou a presença de pivôs centrais em 8 municípios da UGRHI 17. O mapeamento mostrou que existe certa mobilidade entre os equipamentos instalados, uma vez que o pivô central anteriormente localizado no município de Tarumã no mapeamento do ano de 2000 não foi identificado no mapeamento do ano de 2005, e o município de Maracaí, que no ano de 2000 contava com 7 equipamentos em 2005 possuía 6 pivôs centrais. Existem algumas possibilidades para a ocorrência de tal fato, podendo ser a venda do equipamento pelo usuário, a mudança de local a ser irrigado ou até mesmo a desativação do equipamento por um determinado período. Se o equipamento ficar desativado por longos períodos a área pode perder a geometria circular induzindo o analista ao erro no mapeamento.

Em relação ao número de pivôs centrais em 2005 houve um crescimento de 69,23% se comparado ao ano de 2000.

A Tabela 3 apresenta a quantidade de equipamentos total e por município e a área irrigada total e por município em 2005.

Tabela 3 - Pivôs centrais na UGRHI 17 em 2005.

Município	Área irrigada (ha)	Nº de pivôs centrais
Águas de Santa Bárbara	227,12	4
Agudos	83,64	1
Avaré	115,98	1
Cerqueira César	133,92	3
Iaras	113,48	1
Itatinga	129,67	2
Maracaí	439,35	6
Palmital	512,79	4
Total	1755,95	22

Fonte: Elaborado a partir de dados disponíveis em ANA (2019).

O município de Maracaí foi o que apresentou a maior quantidade de pivôs centrais com 6 equipamentos (27,27%), seguido do município de Palmital e Águas de Santa Bárbara com 4 equipamentos cada (18,18%) e Cerqueira César com 3 pivôs (13,63%). O município de Palmital apresentou maior área irrigada com 512,79 ha (29,20%), seguido de Maracaí com 439,35 ha (25,02%), Águas de Santa Bárbara com 227,12 ha (12,93%) e Cerqueira César com 133,92 ha (7,62%). Cabe ressaltar que o município de Palmital, apesar de possuir menor número de pivôs centrais se comparado ao município de Maracaí, possui uma área irrigada maior.

A área irrigada total no ano de 2005 correspondeu a 1755,95 ha, totalizando um aumento de 60,26% da área irrigada se comparado ao ano de 2000.

A Figura 17 apresenta a localização dos pivôs centrais no ano de 2010 na UGRHI 17.

No ano de 2010 foi diagnosticada a presença de pivôs centrais em 12 municípios da UGRHI 17. Novamente, foi diagnosticada a implantação de novos pivôs centrais, bem como a desativação de pivôs centrais nos municípios (Tabela 4).

Tabela 4 - Pivôs centrais na UGRHI 17 em 2010.

Município	Área irrigada(ha)	Nº de pivôs centrais
Águas de Santa Bárbara	132,17	2
Agudos	83,64	1
Avaré	202,94	3
Cerqueira César	87,71	2
Iaras	113,48	1
Itatinga	300,70	8
Manduri	57,11	2
Maracaí	371,86	5
Óleo	57,69	1
Palmital	381,92	3
Ribeirão do Sul	170,05	2
Salto Grande	65,71	1
Total	2024,98	31

Fonte: Elaborado a partir de dados disponíveis em ANA (2019).

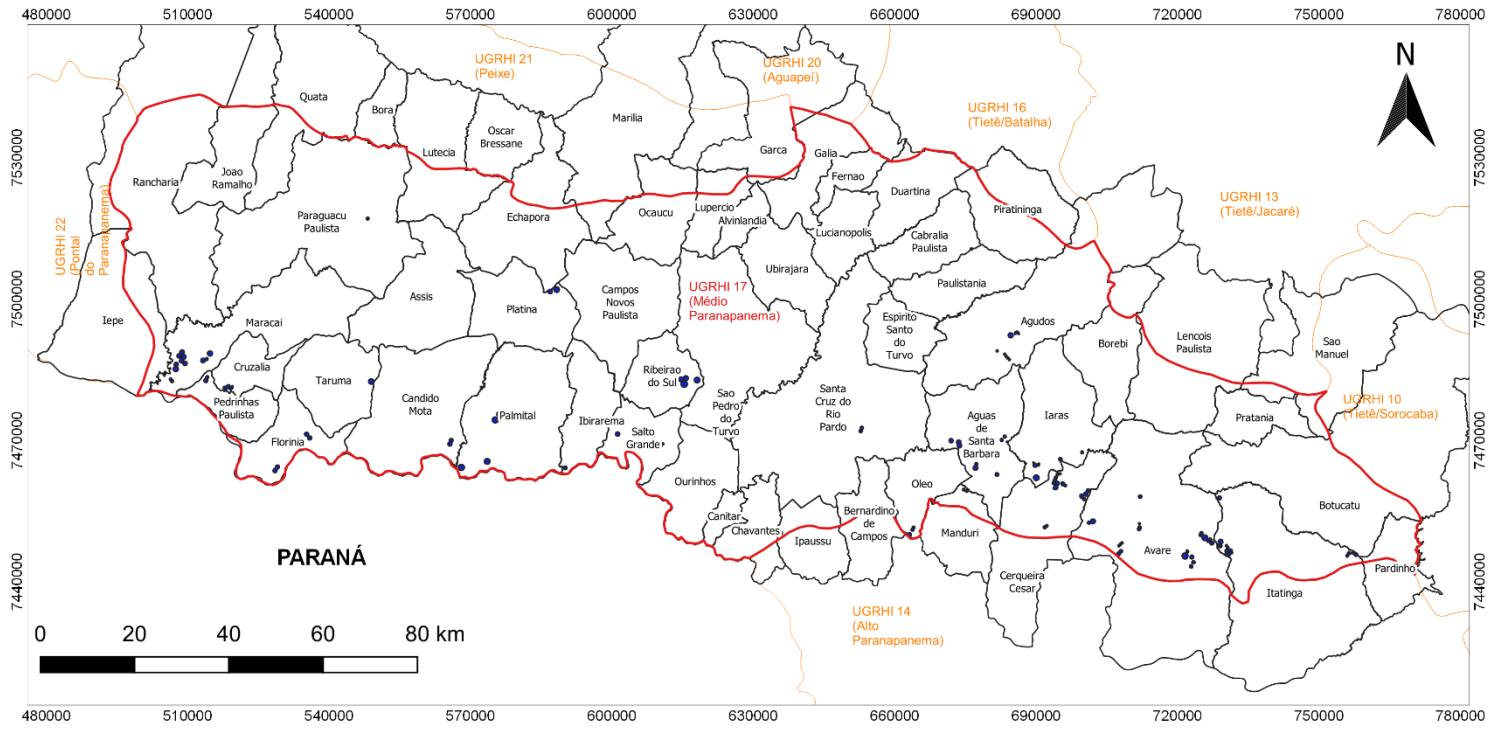
O município de Itatinga despontou como o município com maior número de pivôs centrais com 8 equipamentos (25%), seguido de Maracaí com 5 (15,62%), e Palmital e Avaré com 3 (9,37%) pivôs centrais cada. O município com maior área irrigada foi o município de Palmital com 381,92 ha (18,86%), seguido de Maracaí com 371,86 ha (18,36%), Itatinga com 300,70 ha (14,84%) e Avaré com 202,94 ha (10,02%). O município de Itatinga, com maior número de pivôs centrais, novamente não foi o município com maior área irrigada. Tal fato pode estar relacionado com a geometria da área na qual os pivôs são implantados, sendo necessária a implantação de vários pivôs centrais de área menor para um melhor aproveitamento da área irrigada.

Com 31 equipamentos implantados no ano de 2010, o número de pivôs cresceu 40,9% em relação ao levantamento anterior. A área irrigada total de 2024,98 ha correspondeu a um aumento de 15,32% em relação ao levantamento de 2005, sendo esse um aumento inferior ao registrado entre os anos de 2000 a 2005.

A Figura 18 apresenta a localização dos pivôs centrais no ano de 2014 na UGRHI 17.

Figura 18 - Mapa de localização dos pivôs centrais no ano de 2014 na UGRHI 17.

Pivôs Centrais na UGRHI 17 (2014)



<p>Legenda</p> <ul style="list-style-type: none">Limites MunicipaisLimites das UGRHI'sUGRHI 17Pivôs Centrais (2014) [124]	<p>Software: Qgis 3.6 Base Cartográfica: IBGE, ANA. Sistema de Coordenadas Geográficas: UTM DATUM Sirgas 2000 Organização: BERTOLI, J. G. C.; RIZK, M. C. (2020)</p>		
---	--	--	--

Fonte: Autoria Própria, 2020.

O ano de 2014 foi marcado por um acentuado crescimento na implantação de pivôs centrais, se comparado ao levantamento anterior. Com presença em 23 municípios na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema o número de equipamentos chegou a 124 (Tabela 5).

Tabela 5 - Pivôs centrais na UGRHI 17 em 2014.

Municípios	Área irrigada (ha)	Nº de pivôs centrais
Águas de Santa Bárbara	427,04	8
Agudos	233,45	7
Avaré	976,35	22
Bernardino de Campos	26,44	1
Cabrália Paulista	20,55	1
Cândido Mota	115,05	2
Cerqueira César	607,97	15
Cruzália	149,95	3
Florínia	242,63	4
Iaras	283,18	7
Ibirarema	48,91	1
Itatinga	517,47	15
Manduri	47,07	2
Maracaí	767,83	12
Óleo	119,88	3
Palmital	515,10	4
Paraguaçu Paulista	29,71	1
Pedrinhas Paulista	91,43	2
Platina	186,04	2
Ribeirão do Sul	435,16	4
Salto Grande	156,17	5
Santa Cruz do Rio Pardo	76,76	2
Tarumã	101,37	1
Total	6175,51	124

Fonte: Elaborado a partir de dados disponíveis em ANA (2019).

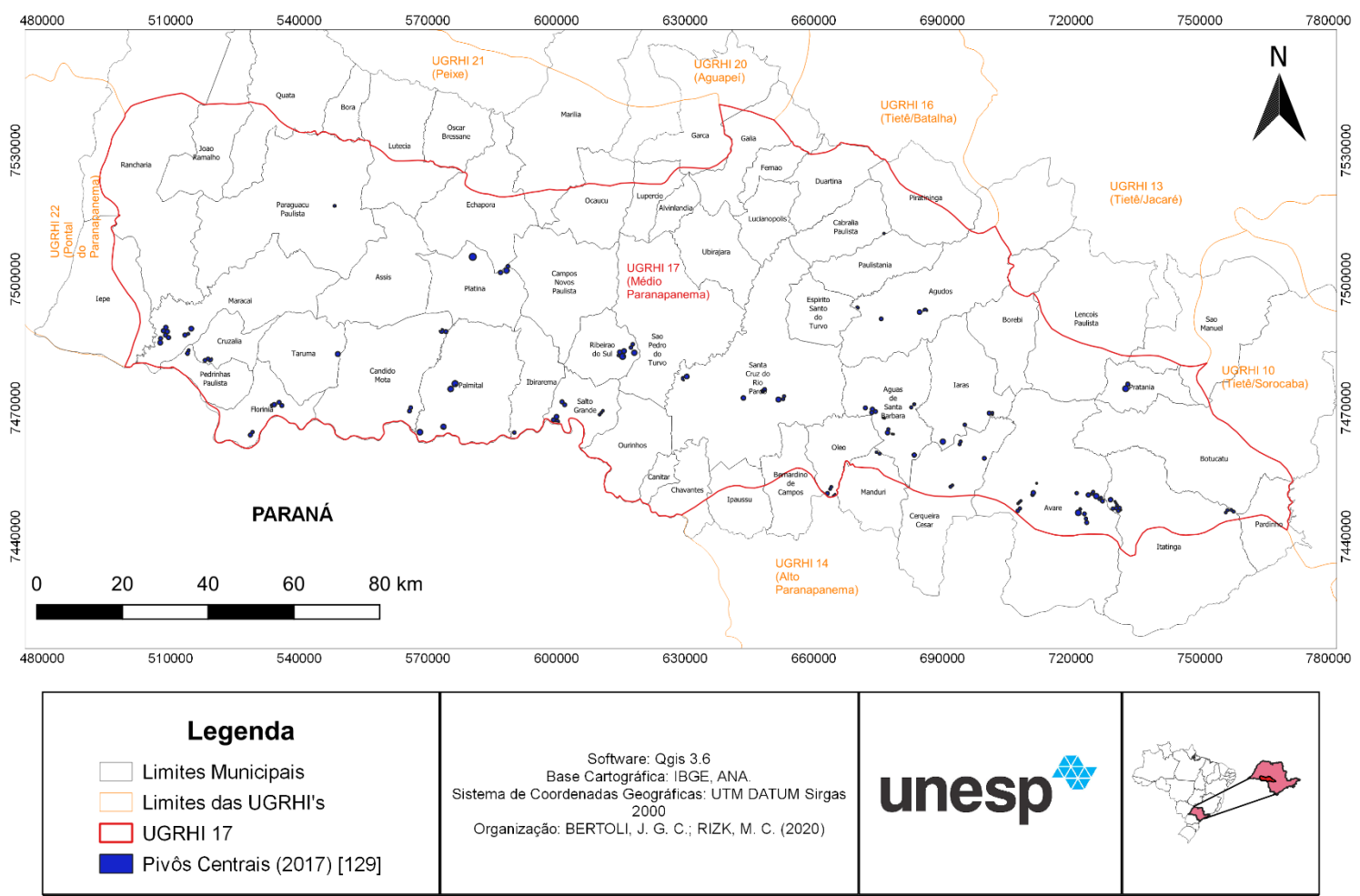
No ano de 2014 o município de Avaré despontou como o município com maior número de pivôs centrais com 22 (17,74%), seguido de Cerqueira César e Itatinga com 15 equipamentos cada (12,09%) e Maracaí com 12 (9,6%). O município de Avaré também apresentou a maior área irrigada com 976,35 ha (15,81%), seguido de Maracaí com 767,83 ha (12,43%), Cerqueira César com 607,97 ha (9,84%) e Itatinga com 517,47 ha (8,37%).

O número de pivôs centrais instalados deu um salto, crescendo 300% em relação ao ano de 2010. A área irrigada de 6175,51 ha correspondeu a um aumento de 204,96% também em relação ao levantamento anterior.

A Figura 19 apresenta a localização dos pivôs centrais no ano de 2017 na UGRHI 17.

Figura 19 - Mapa de localização dos pivôs centrais no ano de 2017 na UGRHI 17.

Pivôs Centrais na UGRHI 17 (2017)



Fonte: Autoria própria, 2020.

A Tabela 6 apresenta a quantidade de equipamentos total e por município e a área irrigada total e por município em 2017.

Tabela 6 - Pivôs centrais na UGRHI 17 em 2017.

Município	Área irrigada (ha)	Nº de pivôs centrais
Águas de Santa Bárbara	555,08	13
Agudos	229,82	4
Avaré	1017,01	21
Cabrália Paulista	20,71	1
Cândido Mota	252,7	4
Cerqueira César	193,62	5
Cruzália	151,42	3
Florínia	346,41	6
Iaras	261,3	5
Ibirarema	45,2	1
Itatinga	464,07	13
Manduri	57,12	2
Maracaí	709,54	10
Óleo	154,04	4
Palmital	512,49	4
Paraguaçu Paulista	32,39	1
Pedrinhas Paulista	96,37	2
Platina	454,28	4
Pratânia	209,33	2
Ribeirão do Sul	554,73	7
Salto Grande	402,56	8
Santa Cruz do Rio Pardo	501,44	8
Tarumã	100,32	1
Total	7321,95	129

Fonte: Elaborado a partir de dados disponíveis em ANA (2019).

No ano de 2017, o município de Avaré se manteve como o município com maior quantidade de pivôs centrais, totalizando 21 equipamentos (16,27%), seguido pelos municípios de Itatinga e Águas de Santa Bárbara com 13 pivôs cada (10,07%) e Maracaí com 10 equipamentos (7,75%). O município com maior área irrigada foi Avaré com 1017,01 ha (13,88%), seguido de Maracaí com 709,54 ha (9,69%), Águas de Santa Bárbara com 555,08 ha (7,58%) e Ribeirão do Sul com 554,73 ha (7,57%). Maracaí e Ribeirão do Sul, apesar de possuírem menor número de pivôs centrais que Itatinga, apresentaram maior área irrigada.

O número de pivôs centrais apresentou um crescimento de 4,03% em relação ao ano de 2014, sendo a menor taxa de crescimento dos levantamentos realizados. A área irrigada cresceu 18,56%. No ano de 2017 foram implantados menos pivôs centrais, porém a área irrigada apresentou um crescimento significativo evidenciando um maior aproveitamento de área produtiva.

Para o ano de 2019, o levantamento foi realizado com composição colorida de imagens SENTINEL 2 utilizando as bandas 4, 3, 2 e 8 (Figura 20).

Já a Figura 21 ilustra o mapeamento dos pivôs centrais na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema no ano de 2019.

Em 2019 constatou-se que os pivôs centrais estavam presentes em 31 dos 55 municípios que possuem área dentro do território da UGRHI 17, ou seja, mais da metade dos municípios possuíam pelo menos um pivô central instalado. A Tabela 7 apresenta o número de equipamentos e a área irrigada em 2019.

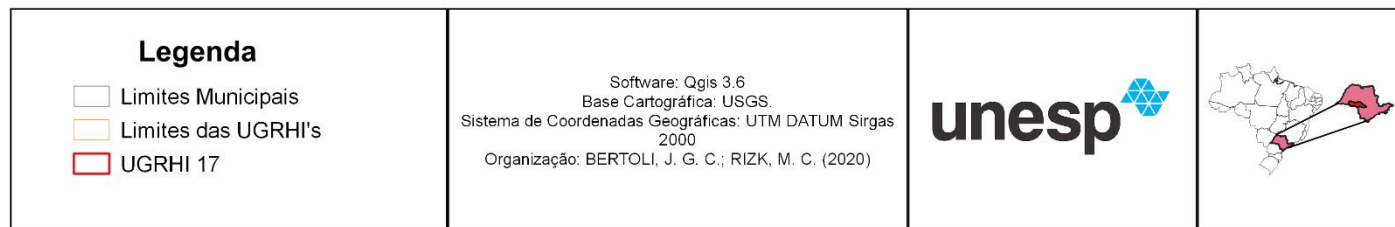
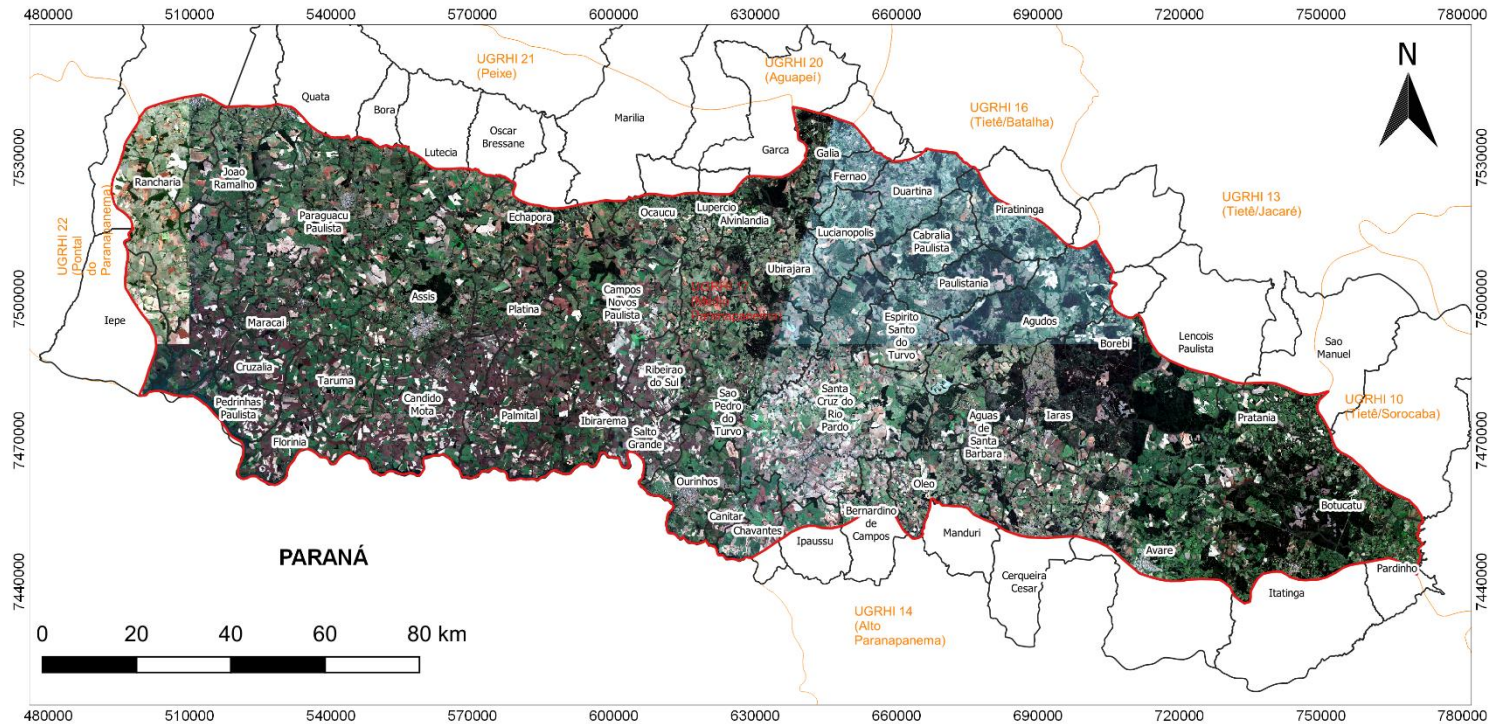
Tabela 7 - Pivôs centrais na UGRHI 17 em 2019.

Município	Área irrigada (ha)	Nº de pivôs centrais
Águas de Santa Bárbara	603,945	14
Agudos	437,18	15
Avaré	1359,81	29
Borebi	160,41	2
Botucatu	63,41	2
Cabrália Paulista	20,71	1
Campos Novos Paulista	338,49	4
Cândido Mota	1111,21	17
Cerqueira César	295,49	8
Cruzália	398,93	7
Florínia	867,25	15
Iaras	598,157	10
Ipaussu	99,43	1
Ibirarema	213,83	3
Itatinga	566,61	16
Manduri	118,52	4
Maracaí	993,74	19
Óleo	152,08	4
Palmital	626,94	6
Paraguaçu Paulista	70,489	5
Pardinho	81,07	2
Pedrinhas Paulista	178,21	3
Platina	659,24	7
Pratânia	267,14	3
Quatá	89,19	1
Ribeirão do Sul	656,32	11
Salto Grande	402,51	8
Santa Cruz do Rio Pardo	993,01	18
São Pedro do Turvo	216,14	3
Tarumã	100,3	1
Ubirajara	174,52	6
Total	12914,28	245

Fonte: Autoria própria (2020).

Figura 20 - Mapa de imagens SENTINEL 2 B na UGRHI 17 em 2019.

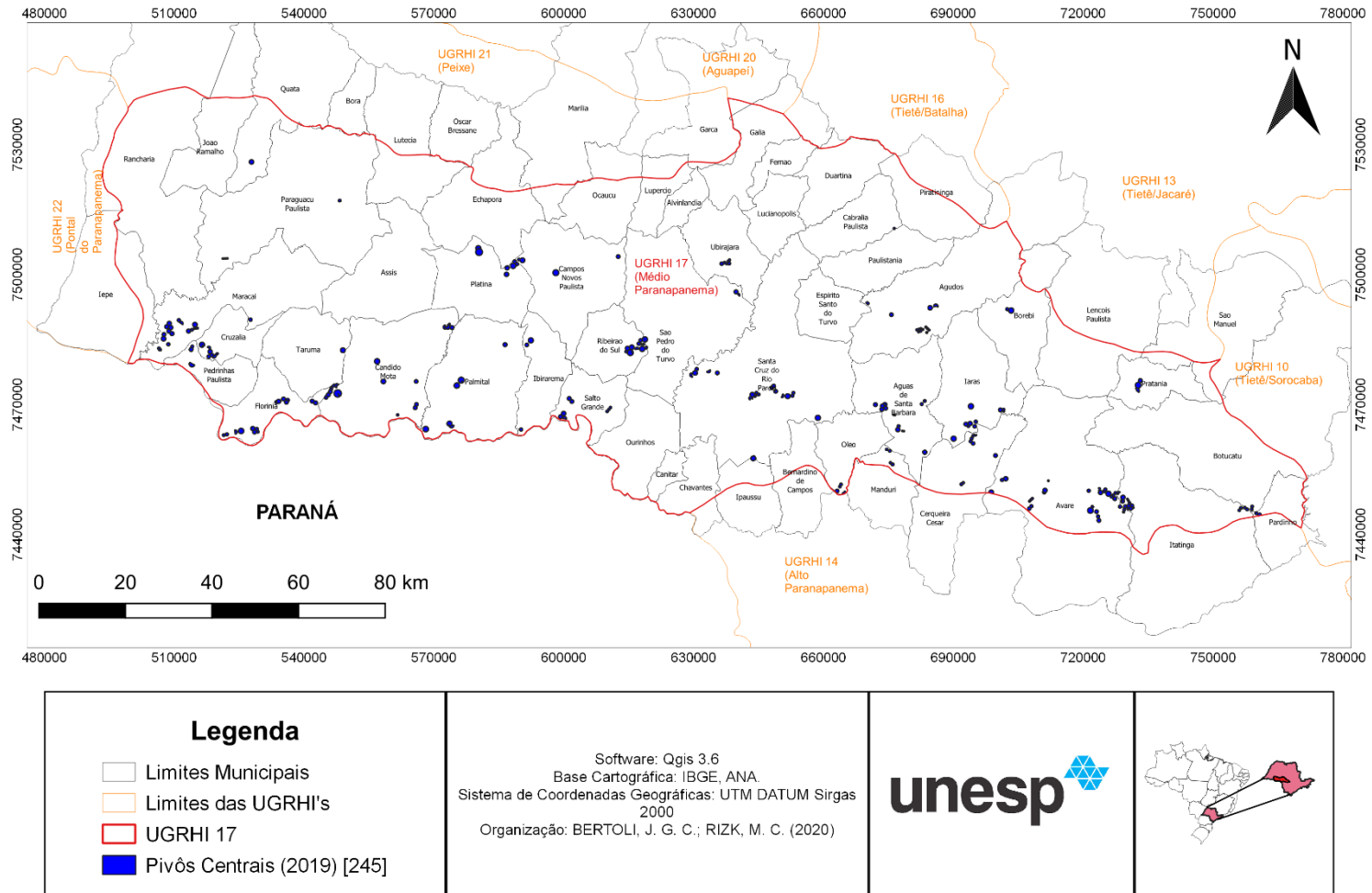
Composição de imagens SENTINEL 2B na UGRHI 17 (2019)



Fonte: Autoria Própria, 2020.

Figura 21 - Mapa de localização dos pivôs centrais no ano de 2019 na UGRHI 17.

Pivôs Centrais na UGRHI 17 (2019)



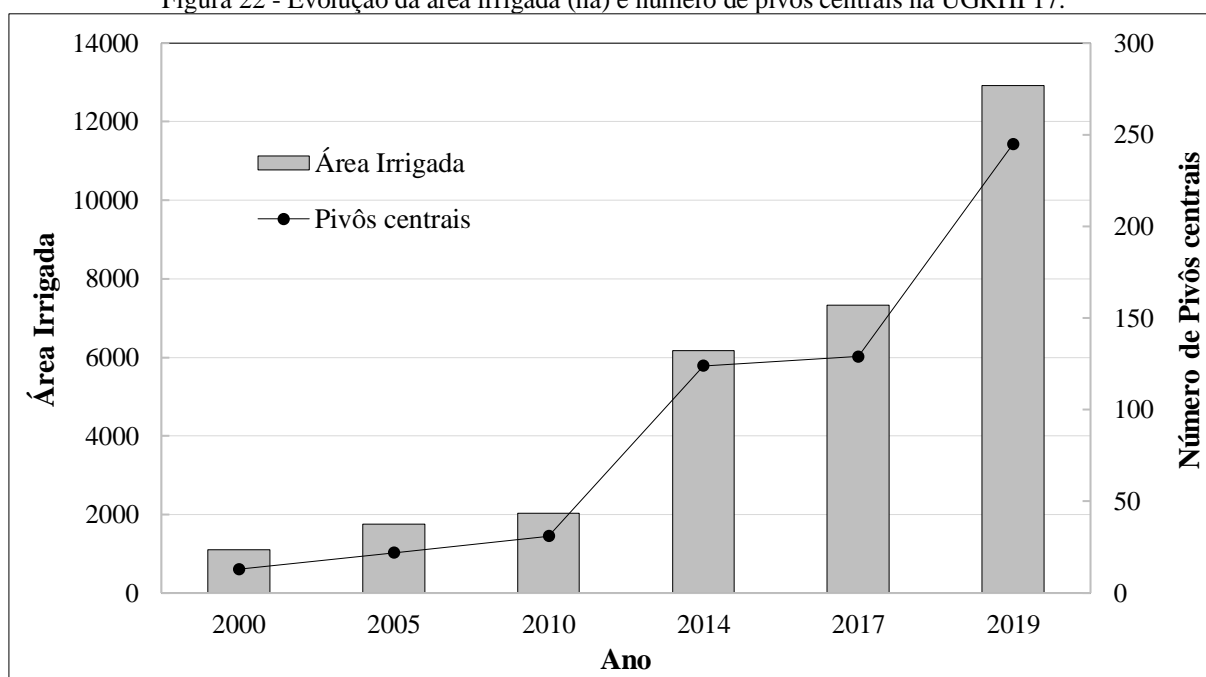
Fonte: Autoria própria (2020).

No ano de 2019, o município de Avaré se manteve como município com maior quantidade de pivôs centrais, com 29 equipamentos (11,83%), seguido do município de Maracaí com 19 pivôs centrais (7,7%), Santa Cruz do Rio Pardo com 18 (7,34%) e Cândido Mota com 17 (6,93%). Avaré também apresentou a maior área irrigada com 1359,81 ha (10,52%), seguido de Cândido Mota com 1111,21 ha (8,60%), Maracaí com 993,74 ha (7,68%) e Santa Cruz do Rio Pardo com 993,01 ha (7,68%).

O número de equipamentos apresentou um crescimento de 89% em relação ao ano de 2017 e a área irrigada cresceu 76,37%. O levantamento de 2019 foi o que possuiu mais ferramentas de confirmação. Foram utilizadas imagens do satélite Sentinel 2B com resolução melhor que as dos satélites Landsat 5 e Landsat 7, utilizados nos levantamentos anteriores (2000, 2005, 2010, 2014), e também foi utilizado o *software Google Earth Pro* para confirmações e contraprovas dando mais precisão na análise visual.

A Figura 22 mostra a evolução dos pivôs centrais e área irrigada de 2000 a 2019 na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema.

Figura 22 - Evolução da área irrigada (ha) e número de pivôs centrais na UGRHI 17.



Fonte: Autoria própria, 2020.

A agricultura irrigada na UGRHI 17 apresentou forte crescimento no período de 2000 a 2019, tendo sido acentuado entre os anos de 2017 a 2019.

Os pivôs centrais cresceram significativamente, partindo de 13 para 245 equipamentos instalados em um período de 19 anos. A área irrigada por pivôs centrais também apresentou um

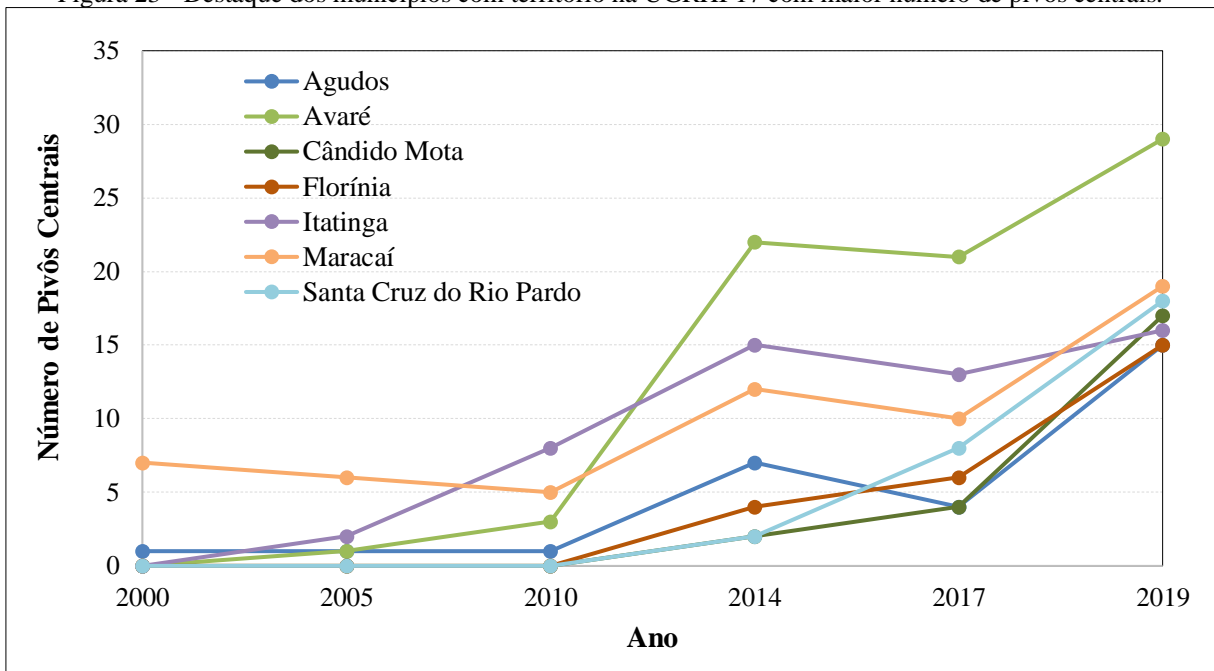
crescimento significativo, partindo de 1095,62 ha em 2000 e atingindo 12914,28 ha em 2019. No ano de 2000, os municípios de Maracaí e Palmital apresentavam uma maior concentração dos pivôs centrais com 7 e 3 pivôs, respectivamente, e os equipamentos só estavam presentes em 5 municípios (12,17%). O levantamento aponta uma tendência de descentralização com o desenvolvimento de polos de irrigação em outros municípios. Em 2019, os pivôs estavam presentes em 32 dos 55 municípios da UGRHI 17 (58,18%), com destaque para o município de Avaré.

Avaré foi o município que apresentou maior crescimento do número de pivôs centrais e área irrigada, partindo de 1 equipamento e 115 ha irrigados em 2005 para 29 equipamentos e 1359,81 ha em 2019. Devemos levar em consideração que apenas uma parte do município está localizada dentro dos limites da UGRHI 17, existindo mais pivôs centrais que não foram contabilizados por estarem fora da área de estudo.

A Figura 23 e a Figura 24 evidenciam que além de Avaré, também destacam-se os municípios de Maracaí, que em 2000 era o município com maior número de equipamentos e área irrigada (7 pivôs e 503,75 ha) e apresentou um crescimento significativo até o ano de 2019 (19 pivôs e 993,74 ha irrigados); Santa Cruz do Rio Pardo, com 2 pivôs centrais e 76,76 ha de área irrigada em 2014 e atualmente é um dos grandes polos de pivôs centrais (18 equipamentos e 993,01 ha de área irrigada); e Cândido Mota que também apresentou pivôs centrais apenas no levantamento de 2014 (2 equipamentos e 115,5 ha de área irrigada) e no período de 5 anos saltou para a quarta colocação em número de pivôs e segunda colocação em área irrigada (17 equipamentos e 1111,21 ha irrigados).

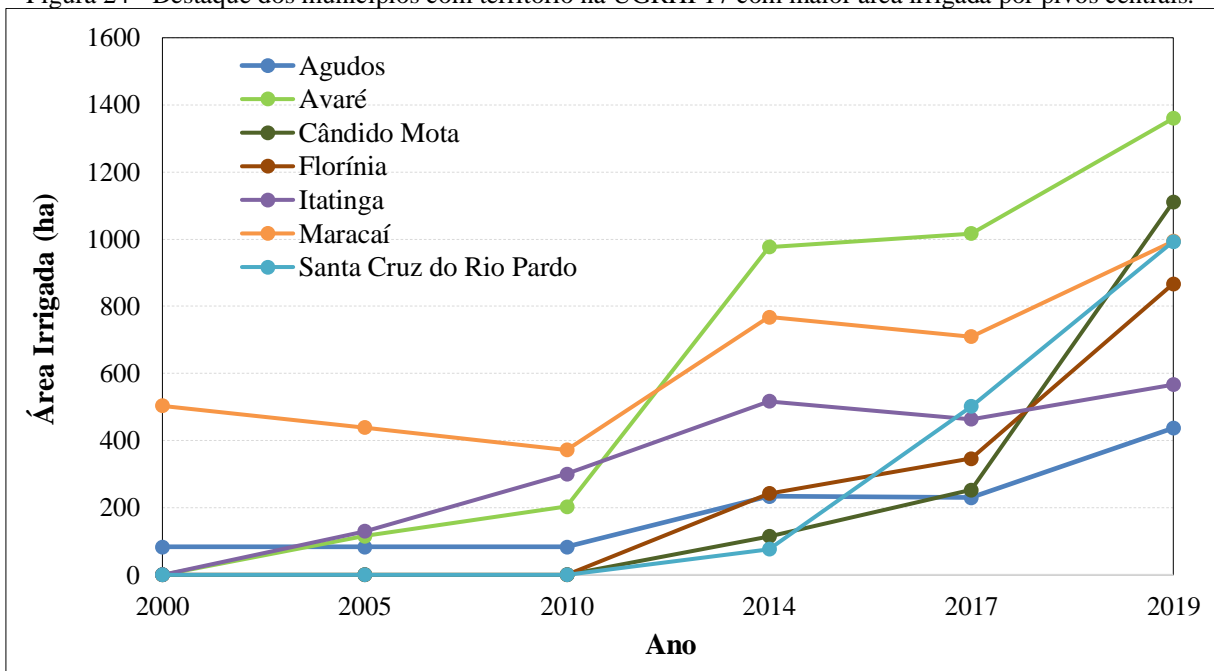
Também destacaram-se a evolução dos municípios de Itatinga, que em 2005 possuía 2 pivôs centrais e 129,67 ha irrigados e em 2019 cresceu para 16 pivôs centrais e 566,16 ha irrigados; Florínia que apresentou 4 pivôs centrais com 242,63 ha irrigados em 2014 dando um salto para 15 equipamentos e 867,25 há irrigados em 2019; e Agudos que em 2005 apresentou 4 equipamentos e 227,12 ha irrigados e em 2019 apresentou 15 equipamentos e 437 ha irrigados, resultando no surgimento de polos de irrigação e em maior participação desses municípios na irrigação por pivô central na UGRHI 17.

Figura 23 - Destaque dos municípios com território na UGRHI 17 com maior número de pivôs centrais.



Fonte: Autoria Própria, 2020.

Figura 24 - Destaque dos municípios com território na UGRHI 17 com maior área irrigada por pivôs centrais.

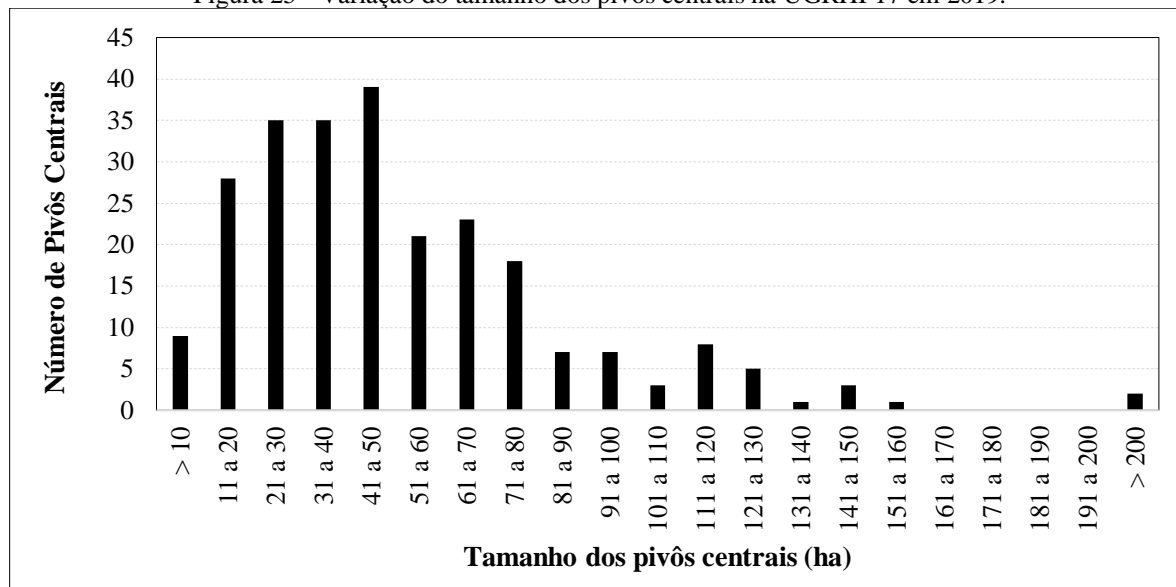


Fonte: Autoria Própria, 2020.

Deve-se levar em consideração o impacto econômico que os pivôs centrais podem causar nos municípios, pois de acordo com um levantamento realizado pelo IBGE em 2017, dos 10 municípios com maior PIB agropecuário com território na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema foi diagnosticada a presença de pivôs centrais em 6 deles.

Quanto ao tamanho dos pivôs centrais, foi encontrada uma variação considerável, ocorrendo pivôs centrais entre 8,53 ha a 226,8 ha (Figura 25).

Figura 25 - Variação do tamanho dos pivôs centrais na UGRHI 17 em 2019.



Fonte: Autorial Própria, 2020.

Os pivôs apresentaram uma variação de tamanho considerável e a maioria dos pivôs centrais possuía de 41 a 50 ha (15,91%) em 2019, próximo do observado por Landau et al. (2014) para o estado de São Paulo que foi de 47,81 ha e menor que o observado por Schimdt et al. (2004) para a região sudeste em que a área média por equipamento foi de 87,72 ha.

Não foi verificada relação entre o tamanho dos pivôs centrais e a sua localização geográfica, existindo pivôs de diferentes tamanhos em diferentes municípios da UGRHI 17. Os maiores pivôs centrais foram observados nos municípios de Cândido Mota, Platina e Campo Novos Paulista, com 226,8, 202,3 e 151,7 ha, respectivamente. Os menores pivôs centrais foram encontrados nos municípios de Águas de Santa Bárbara (8,53 ha) e Paraguaçu Paulista (9,5 ha).

Podemos observar que existem 39 pivôs centrais com tamanho variando na faixa de 41 a 50 ha; 35 pivôs que variaram entre 31 e 40 ha; e 35 equipamentos que variaram de 21 a 30 ha. Além disso, 137 (55%) pivôs centrais da UGRHI 17 possuíam tamanho entre 11 a 50 ha. Outro fator que deve ser levado é que existem mais pivôs centrais menores que 10 ha do que pivôs maiores que 200 ha.

Isso se deve ao fato do pivô central possuir uma geometria fixa, não sendo adaptável a geometria da propriedade rural, como é o caso da irrigação por gotejamento subterrânea, na qual as mangueiras com gotejadores passam por debaixo da cultura cultivada, sendo assim facilmente adaptada a diversas geometrias de propriedades rurais. No caso específico do pivô

central, caso a geometria da propriedade rural não favoreça a geometria circular do equipamento, muitas vezes para um maior aproveitamento da área a ser irrigada, opta-se pela implantação de um segundo pivô, podendo o mesmo realizar o giro completo em torno de seu eixo ou incompleto, sendo esse último denominado pivô setorial. A Figura 26 ilustra a situação descrita.

Figura 26 - Pivôs centrais existentes em uma propriedade rural na UGRHI 17.



Fonte: United States Geological Survey, 2019.

A geometria da área e outros fatores como: edificações, fragmentos de vegetação nativa, estradas rurais e linhas de transmissão de energia determinam diretamente a implantação da agricultura irrigada por pivôs centrais. Podemos observar na Figura 26 que o fragmento de vegetação nativa impede que o pivô de maior tamanho faça o giro de 360° o que o transforma em um pivô “setorial”, também devemos nos atentar que a geometria da área não favorece o formato circular dos pivôs centrais o que culmina em uma área considerável não irrigada.

Podemos observar que o levantamento por sensoriamento remoto realizado em 2019 encontrou mais pivôs que os levantamentos realizados anteriormente pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico com análise semiautomática, o que levantou alguns questionamentos entre as duas metodologias.

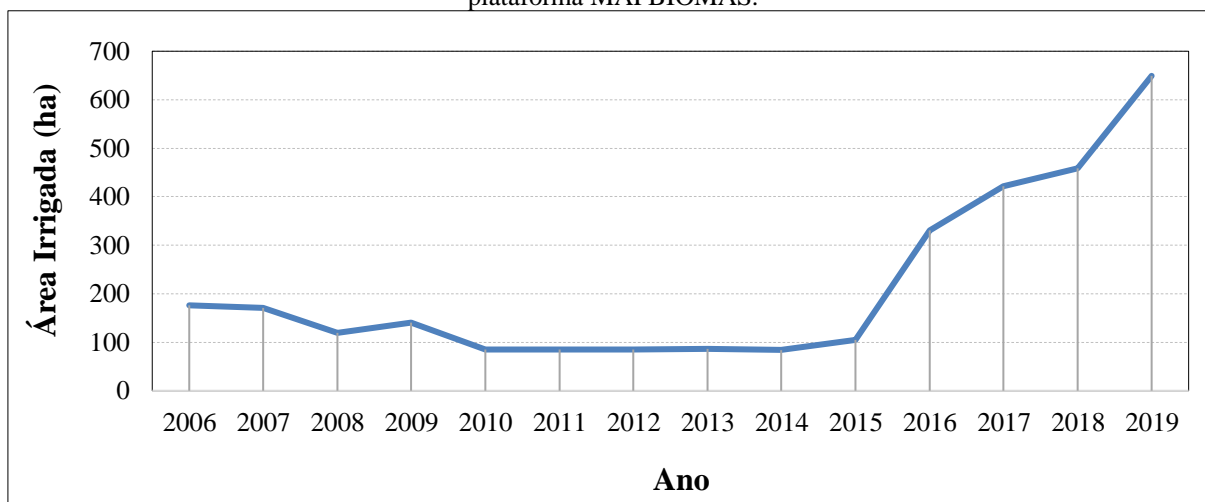
Recentemente, o MAPBIOMAS (2020) publicou a fase beta de um levantamento de uso do solo com ênfase na irrigação. A metodologia utilizada no MAPBIOMAS também foi a

classificação semiautomática com classificação pixel a pixel de imagens de satélite LANDSAT e SENTINEL 2B (MAPBIOMAS, 2020).

Foi realizada uma comparação entre a metodologia de sensoriamento remoto realizada no presente estudo e a análise semiautomática realizada pelo MAPBIOMAS.

A Figura 27 apresenta a evolução da área irrigada no município de Santa Cruz do Rio Pardo de acordo com o MAPBIOMAS.

Figura 27 - Evolução da área irrigada por pivôs centrais em Santa Cruz do Rio Pardo – SP de acordo com a plataforma MAPBIOMAS.

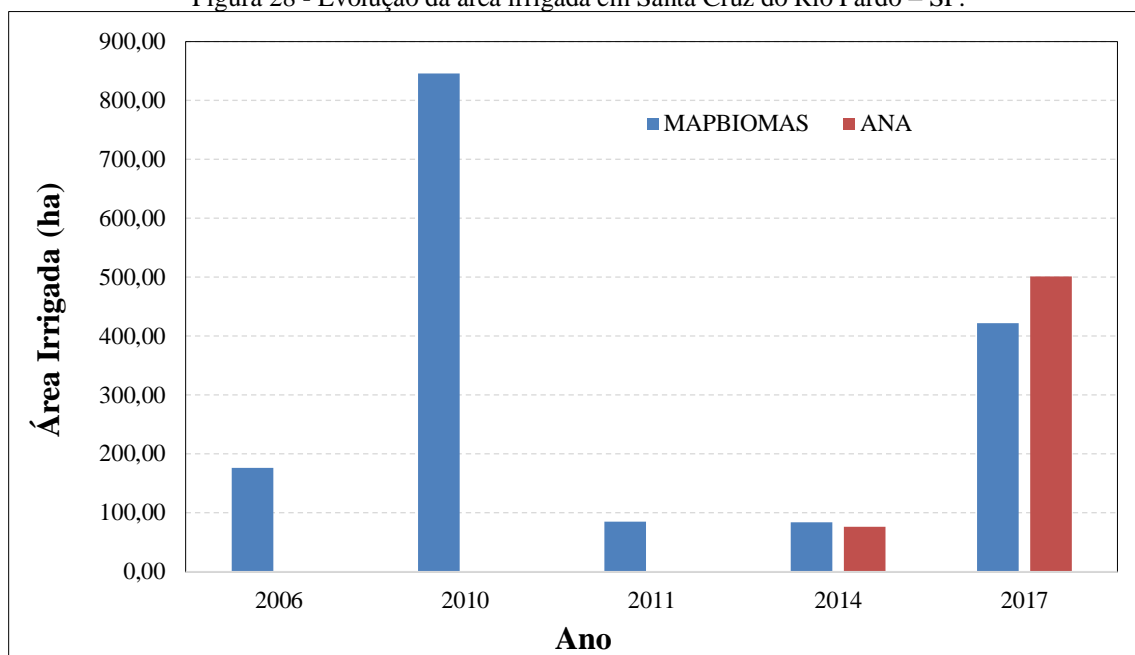


Fonte: MAPBIOMAS, 2021.

A área irrigada por pivôs centrais em Santa Cruz do Rio Pardo em 2006 era de 176 ha e caiu para 84,60 ha no ano de 2010, se mantendo aproximadamente constante até o ano de 2015, tendo um crescimento de 104,82 ha para 649,29 ha no ano de 2019.

A Figura 28 ilustra um comparativo entre as metodologias de análise semiautomática da ANA *versus* a análise semiautomática do MAPBIOMAS.

Figura 28 - Evolução da área irrigada em Santa Cruz do Rio Pardo – SP.



Fonte: Autoria Própria, 2021.

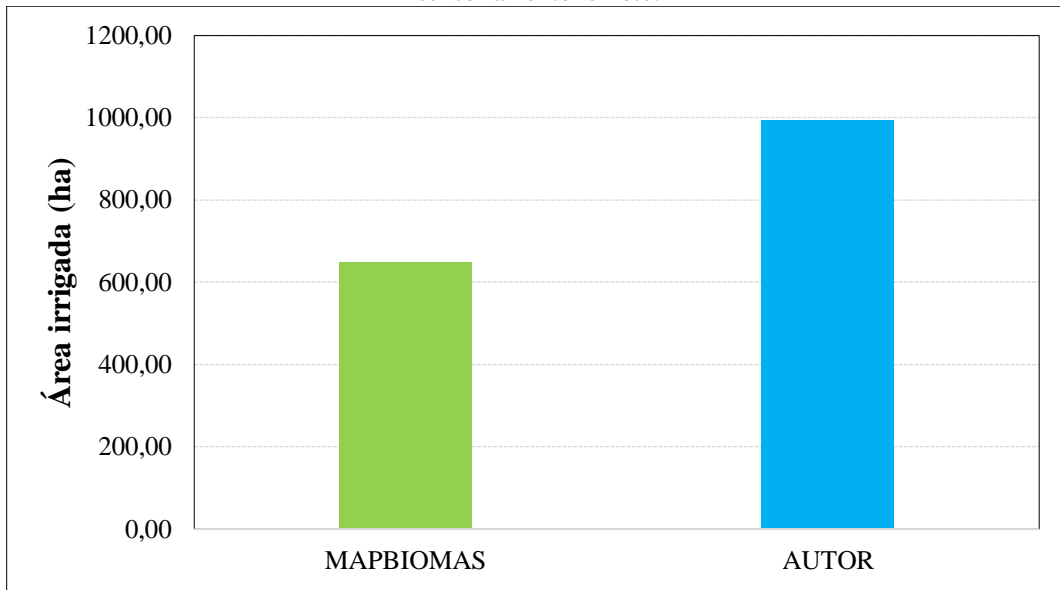
Se realizarmos um comparativo entre a análise semiautomática da ANA *versus* a análise semiautomática do MAPBIOMAS, pode-se constatar que a metodologia de análise semiautomática do MAPBIOMAS conseguiu encontrar pivôs centrais não detectados pela metodologia da ANA, uma vez que o levantamento da ANA detectou pivôs centrais no município de Santa Cruz do Rio Pardo apenas a partir do ano de 2014, enquanto a metodologia do MAPBIOMAS já vinha detectando pivôs centrais no mesmo município desde o ano de 2006.

A Figura 29 trata de um comparativo entre os resultados encontrados pelo MAPBIOMAS *versus* os resultados encontrados pela metodologia de sensoriamento remoto do presente estudo.

Se compararmos a área irrigada no ano de 2019 do MAPBIOMAS com a área irrigada detectada nesta pesquisa, observa-se que a metodologia de análise visual identificou 993,01 ha de agricultura irrigada por pivôs centrais contra 649,29 ha detectada pelo MAPBIOMAS.

Na metodologia de análise visual há um intenso trabalho no qual, através do sensoriamento remoto, o analista deve percorrer visualmente todo território do município. No presente trabalho, foi percorrido visualmente o território de 55 municípios; logo trata-se de um trabalho extenso e que requer uma quantidade de tempo considerável e também demanda equipes de trabalho maiores, o que torna a análise semiautomática uma melhor alternativa para trabalhos de mapeamentos em escalas nacionais ou até mesmo estaduais.

Figura 29 - Área irrigada em Santa Cruz do Rio Pardo – SP (2019) no comparativo de metodologias de sensoriamento remoto.



Fonte: Autoria Própria, 2021

Outro fator que deve ser considerado para justificar o resultado foi que o autor do presente estudo trabalha diretamente com pivôs centrais na região do Médio Paranapanema, o que facilitou a percepção local e o conhecimento da localização dos pivôs implantados, diminuindo-se consideravelmente o grau de incerteza que uma analista comum teria ao analisar as imagens de satélite.

A Figura 30 traz, a título de ilustração, um dos pivôs centrais de Santa Cruz do Rio Pardo.

Figura 30 - Pivô central no município de Santa Cruz do Rio Pardo.



Fonte: Autoria própria, 2020.

A UGRHI 17 é dividida em quatro regiões hidrográficas denominadas Unidades de Planejamento de s Hídricos, sendo elas: Capivara, Pari/Novo, Pardo, Turvo. As UPH's têm por objetivo setorizar e facilitar o planejamento de gestão de recursos hídricos por parte do Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (CBH-MP, 2018).

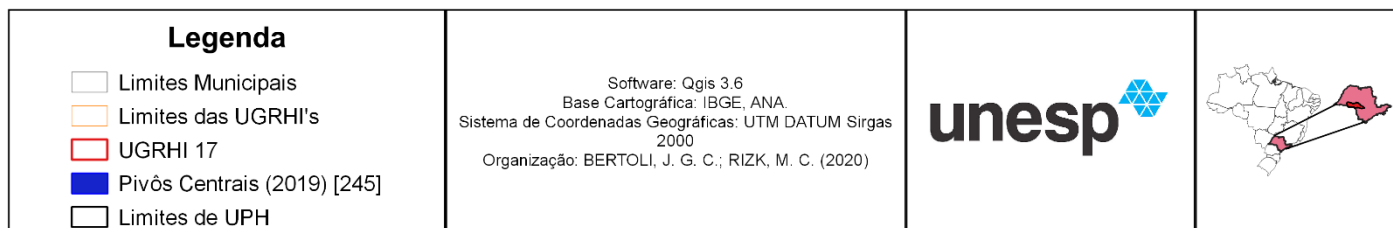
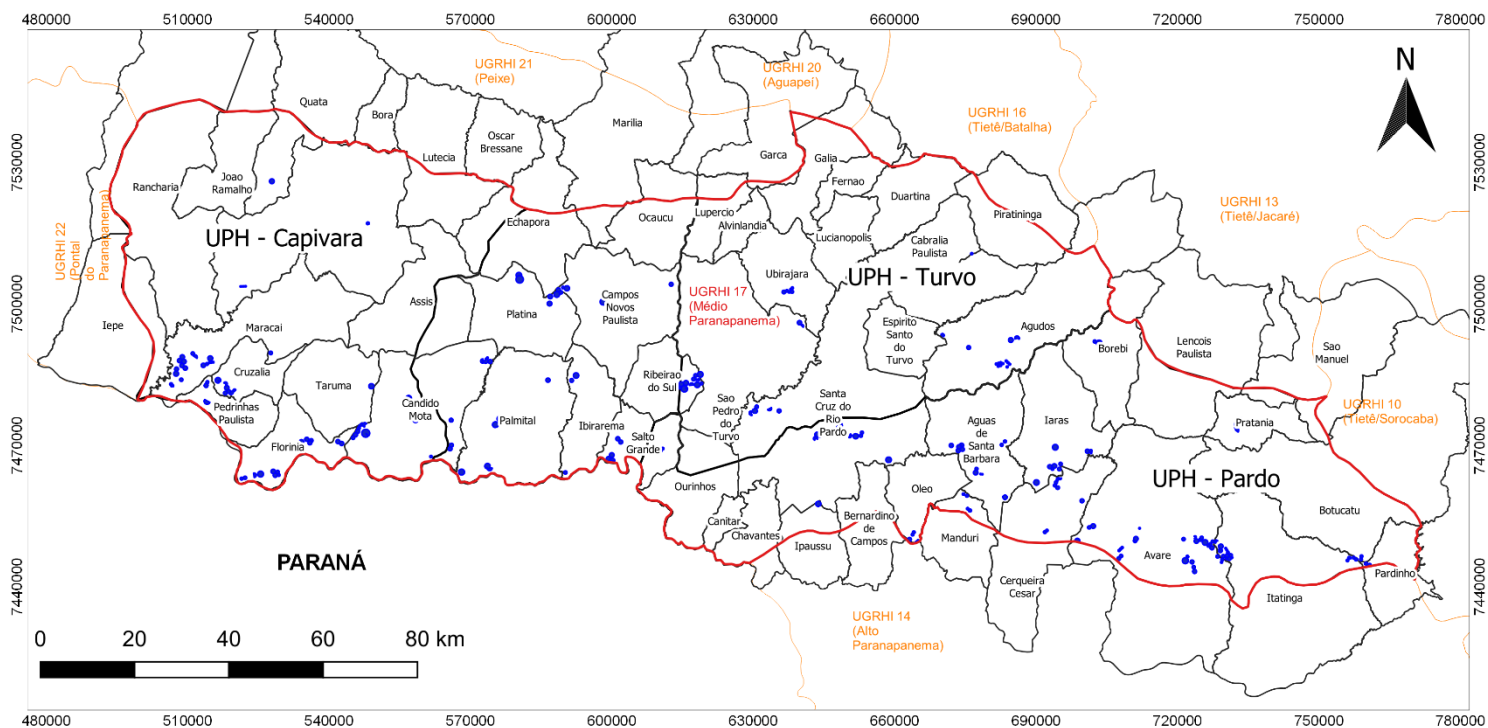
Levando tal fato em consideração, foi elaborado um Mapa de Pivôs Centrais por UPH do território da UGRHI 17, com o objetivo de identificar quais Unidades de Planejamento tinham mais equipamentos instalados e área irrigada (Figura 31).

A UPH do Rio Pardo é a unidade de planejamento que possui mais pivôs centrais, totalizando 97 equipamentos, representando 39,56% do total do território da UGRHI 17 e 4.643,83 hectares irrigados (35,95% da área irrigada total da UGRHI); seguida da UPH Capivara, com 60 equipamentos instalados (24,48%) e 3420,03 ha irrigados (26,48%); da UPH Turvo, com 41 equipamentos instalados (16,73%) e 1786,57 ha irrigados (13,83%); e da UPH Pari/Novo, com 32 pivôs centrais (13,06%) e 2529,62 ha irrigados (19,58%). Podemos observar que apesar de possuir menos equipamentos instalados, a área irrigada da UPH Pari/Novo é maior que a UPH Turvo. Todas as UPH citadas possuem rios com uma disponibilidade hídrica para implantação de pivôs centrais considerável, sendo eles: Capivara, Pari, Novo, Turvo e Pardo. Porém, algumas UPH possuem mais pivôs centrais e área irrigada que outras.

O município com mais pivôs centrais e área irrigada (Avaré) está dentro da área da UPH Pardo, bem como outras cidades que podem ser consideradas polos de pivôs centrais na UGRHI 17: Itatinga e Santa Cruz do Rio Pardo, tendo a última o território dividido entre as UPH Turvo e Pardo. A UPH Pardo é próxima da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Paranapanema, que atualmente representa a UGRHI com maior desenvolvimento de agricultura irrigada no estado de São Paulo (ANA, 2019). Em 2000, a UPH Pardo possuía apenas 1 pivô central e a UPH Capivara possuía 7 equipamentos, porém a UPH Pardo apresentou um desenvolvimento maior e mais acelerado que as outras e em 2014 apresentava mais equipamentos instalados e área irrigada, mantendo essa tendência até 2019.

Figura 31 - Mapa de pivôs centrais por Unidade de Planejamento Hídrico da UGRHI 17 em 2019.

Pivôs Centrais por UPH (2019)



Fonte: Autoria Própria, 2020.

A UPH Capivara também possui uma representatividade considerável na agricultura irrigada por pivôs centrais na UGRHI 17. Os municípios de Cândido Mota, Florínia e Maracaí são responsáveis pela quantidade considerável de pivôs centrais da UPH. Diferentemente da UPH Turvo, que sofre influência da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Alto Paranapanema, a UPH Capivara apresenta o desenvolvimento de pivôs centrais desde o primeiro levantamento em 2000 e apresentou crescimento até o último levantamento de 2019. Podemos observar que os pivôs centrais dessa UPH estão, em sua maioria, próximos ao Rio Paranapanema, podendo a disponibilidade hídrica ser um dos fatores que justifica o crescimento dos pivôs centrais na UPH.

Outro fator que influencia diretamente a implantação de pivôs centrais na UGRHI 17 é a relação de clima e pluviosidade que impacta diretamente no cultivo de grãos na área de estudo, uma vez que a Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema vem sofrendo com períodos de estiagem na estação chuvosa, fenômeno esse popularmente denominado veranico. Os produtores locais afirmam que os veranicos de janeiro provocam grande perda de produtividade na safra da soja, uma vez que a estiagem atinge a cultura em uma fase crítica de crescimento e necessidade de água.

Para uma análise da relação precipitação *versus* agricultura irrigada, foram levantadas as precipitações médias de 2017 a 2019, pois nesse período houve o maior crescimento de pivôs centrais. Os dados de precipitação (Quadro 4) foram colhidos em estações meteorológicas do DAEE (2021). Para a escolha das estações, priorizou-se a distribuição das mesmas dentro do território da UGRHI 17, objetivando uma maior representatividade no território.

Observa-se que em 9 das 15 estações meteorológicas distribuídas no território da UGRHI 17 a precipitação média plurianual do período de 2017 a 2019 foi menor do que a precipitação média plurianual histórica, o que permite concluir que em mais de 56,25% das estações observadas choveu menos do que o previsto no período de 2017 a 2019. Tal fato evidencia que, apesar da UGRHI possuir um clima bem definido, a agricultura sofre com a ocorrência de anomalias climáticas que podem influenciar diretamente no processo decisório para a implantação de um sistema de irrigação.

São necessários estudos complementares específicos correlacionando a precipitação *versus* a implantação de pivôs centrais para afirmar que o crescimento de pivôs centrais no período analisado se deveu à falta de chuvas, todavia, pode-se dizer que caso a precipitação média plurianual continue abaixo da média histórica tal fator pode acelerar o crescimento do número de pivôs centrais no território da UGRHI 17.

Quadro 4 - Precipitação média de 2017 a 2019 na UGRHI 17.

Estação Meteorológica	Anos de dados	Precipitação Média Plurianual 2017-2019 (mm)	Precipitação Média Plurianual Histórica (mm)	Precipitação do período abaixo da média histórica
Rancharia (D7-068)	48	1423,56	1425,30	Sim
Lutécia (D7-007)	59	1225,9	1353,36	Sim
Assis (D7-055)	50	1447,39	1432,58	Não
Palmital (D7-071)	46	1350,46	141,10	Sim
Ocaçu (D6-094)	49	1041,46	1348,6	Sim
Ourinhos (D6-011)	82	1305,7	1403,38	Sim
Gália (D6-019)	81	1292,76	1385,97	Sim
Santa Cruz do Rio Pardo (D6-102)	45	1233,53	1400,15	Sim
Ipaussu (E6-007)	78	1429,53	1458,75	Sim
Óleo (D6-003)	76	1390,90	1368,49	Não
Cerqueira César (E6-030)	68	1402,01	1379,46	Não
Lençóis Paulista (D5-081)	47	1254,90	1423,09	Sim
Avaré (E5-014)	80	1466,6	1406,17	Não
Itatinga (D5-040)	59	1403,00	1380,05	Não
Pardinho (D5-060)	49	1587,66	1386,80	Não

Fonte: Autoria própria, 2021.

Deve-se levar em consideração que os pivôs, em sua grande maioria, realizam captações superficiais em corpos hídricos e a vazão dos rios é influenciada diretamente pela precipitação. Caso o crescimento dos pivôs centrais esteja diretamente associado a falta de chuvas, a tendência é que enquanto houver escassez de precipitação natural, a irrigação artificial continue aumentando, porém, a falta de precipitação reduz consideravelmente a vazão disponível para captação superficial, o que causa pressão nos corpos hídricos, podendo levar bacias inteiras ao colapso por demanda maior que oferta.

Quando a vazão disponível para captação superficial é menor que a demanda, os produtores rurais optam pela implantação de reservatórios de acumulação. A implantação de reservatórios artificiais pode ser uma solução a curto prazo para regularização de vazão de captação, porém a prática impacta diretamente o corpo hídrico.

É importante citar que os reservatórios artificiais que estão sendo construídos para irrigação no território da UGRHI 17 são pequenos se comparados aos reservatórios para geração de energia hidroelétrica. Em média, os reservatórios possuem talude com altura menor que 5 metros e o volume armazenado varia de 25.000 m³ a 65.000 m³, em média. Na Figura 32, pode-se observar uma captação realizada em um reservatório no município de Florínea.

Figura 32 - Captação superficial em reservatório no município de Florínea.



Fonte: Autoria própria, 2019.

A Figura 33 ilustra dois reservatórios em série utilizados para irrigação, porém de propriedades rurais diferentes.

Figura 33 - Reservatório de irrigação no município de Florínea.



Fonte: Autoria própria, 2019.

O processo decisório da implantação do reservatório artificial pelo poder público é feito considerando os impactos ambientais na bacia hidrográfica de maneira superficial.

Reservatórios artificiais alteram o perfil longitudinal do rio, uma vez que a implantação de um reservatório reduz a velocidade do rio a montante e acelera a jusante, impactando diretamente o fluxo de sedimentos, a geometria do canal e a fauna macro invertebrada (VANNOTE et al., 1980).

No licenciamento ambiental de um reservatório é levado em consideração aspectos hidráulicos e construtivos para garantir a segurança do barramento pelo DAEE e os aspectos florestais de inundação de vegetação nativa e intervenção em área de preservação permanente pela CETESB, porém os impactos no perfil longitudinal não são analisados de forma direta. Em bacias hidrográficas com crescimento acentuado de pivôs centrais e baixa disponibilidade hídrica pode levar à construção de reservatórios artificiais para irrigação pelos irrigantes, o que pode descaracterizar o perfil longitudinal do corpo hídrico.

Na Figura 34, pode-se observar um exemplo no município de Florínea com 4 pivôs centrais e 4 barramentos em série.

Figura 34 - Reservatórios em série para irrigação em Florínea – SP.



Fonte: United States Geological Survey, 2019.

No que se refere ao tipo de captação realizada pelos pivôs centrais existe a predominância da captação superficial em corpos d'água. Em consulta realizada junto às principais revendas de pivôs centrais da UGRHI 17 foi revelado que um dos pivôs localizados

em Paraguaçu Paulista é abastecido com captação subterrânea. Todos os outros pivôs existentes na UGRHI 17 no ano de 2019 realizam captação superficial.

Com o objetivo de caracterizar as águas subterrâneas na UGRHI 17 foi elaborado um mapa de unidades aquíferas, como podemos observar na Figura 35.

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema está localizada predominantemente sob os aquíferos Bauru e Serra Geral. O balanço entre a demanda de captação subterrânea e as reservas exploráveis mostra que são utilizados apenas 8,4% da água total disponível na UGRHI. Estima-se que essa demanda irá crescer para 9,8% do total da água subterrânea disponível até o ano de 2027 (CBH-MP, 2018).

Se compararmos a disponibilidade existente com o fato de se conhecer apenas um pivô central abastecido com água subterrânea na UGRHI 17 no ano de 2019, pode-se dizer que as águas subterrâneas oferecem potencial em boa parte ainda não explorado. Estima-se que esse fato ocorra pelo elevado custo de perfuração dos poços subterrâneos para se atingir uma vazão adequada ao subsídio de um pivô central (MAIA NETO, 1997).

Levando em consideração que uma irrigação utilizando pivô central para a cultura da soja, com área irrigada de 100 há, tem demanda de aproximadamente 430 m³/h e que é necessária uma investigação hidrogeológica altamente tecnológica para a escolha do ponto de perfuração da captação subterrânea que atenda essa demanda, logo esses dois fatores somados encarecem o custo da irrigação, o que torna a utilização da água subterrânea para abastecimento dos pivôs centrais pouco expressiva no território da UGRHI 17. Costa; Costa (1997) afirmam que os recursos hídricos subterrâneos, dentro de uma margem de segurança, podem atuar como complemento dos recursos hídricos superficiais para atendimento da demanda hídrica.

As vantagens da utilização da água subterrânea na irrigação se dão principalmente pela sua qualidade. Teissedre (1997) afirma que a qualidade da água para irrigação nem sempre é definida adequadamente, sendo um tema muitas vezes negligenciado, porém que pode afetar diretamente na salinidade do solo e no crescimento da cultura plantada. Dessa forma, seria necessária uma análise da qualidade e dos componentes físico-químicos do recurso hídrico para cada cultura. Nesse quesito, as águas subterrâneas tendem a apresentar vantagens frente as captações superficiais, uma vez que sofrem menos pressão de fatores externos, como escoamento superficial e lixiviação.

Outro fator que, influencia diretamente a localização dos pivôs centrais na área de estudo é a pedologia da UGRHI 17.

Se compararmos o Mapa Pedológico da UGRHI 17 com o Mapa de Pivôs Centrais no ano de 2019 podemos observar que a grande maioria dos pivôs centrais está implantado em áreas de latossolo e em menor proporção em áreas de argissolo. Tal fato pode justificar que, por serem solos mais suscetíveis a mecanização e com boas respostas a correções com o uso de fertilizantes, apresentam aptidão à agricultura mecanizada e ao emprego do sistema de irrigação.

Outro fator que favorece a escolha do pivô central no processo de decisório de implantação de sistemas de irrigação é o fato de que gotejadores geralmente apresentam problemas em operação com água que possui alto teor de ferro. O latossolo, por possuir grande quantidade de óxido de ferro, pode contaminar diretamente corpos hídricos caso não exista um bom sistema de drenagem de águas pluviais e os sedimentos do latossolo sejam carregados pela água da chuva. Essa água com alta concentração de ferro, quando captada pelo sistema de irrigação, oxida e causa o entupimento dos gotejadores, sendo esse fator extremamente problemático na utilização de irrigação localizada (VIEIRA et al., 2004).

Caso a água do rio apresente alto teor de óxido de ferro, e esse fator não seja corretamente manejado, os gotejadores irão entupir em um curto espaço de tempo e os procedimentos de recuperação adicionarão custos para manutenção do sistema, levando à queda do custo-benefício (RIBEIRO; PATERNIANI, 2008) e favorecendo o pivô central no processo decisório de escolha de sistema de irrigação a ser implantado.

Nos argissolos, o gargalo na implantação de sistemas de irrigação fica por conta de os mesmos possuírem diferentes classes de drenagem interna e alguns apresentarem grande susceptibilidade a erosão hídrica (IBGE, 2007), fator esse que deve ser levado em consideração previamente à implantação de pivôs centrais.

Já os nitossolos, por serem solos argilosos e naturalmente possuírem uma boa retenção de umidade, apresentam características ideais para climas com estação bem definida, como é o caso da UGRHI 17, sendo altamente suscetíveis a agricultura irrigada por reterem umidade no solo por mais tempo, proporcionando assim menores aplicações de água e maior economia de energia elétrica.

Os gleissolos não possuem aptidão agrícola para implantação de pivôs centrais, uma vez que já são saturados com água. O problema de saturação pode ser resolvido com drenos artificiais, porém sua baixa fertilidade natural ainda continua sendo um fator limitante pra culturas como soja, milho e feijão (grãos). Devemos levar em consideração também que muitos gleissolos são saturados por possuírem afloramento natural de água subterrânea, sendo essas áreas protegidas pela Lei Federal nº 12.651 de 2012 como áreas de preservação permanente.

Um problema encontrado em áreas irrigadas por pivô central é a ocorrência de escoamento superficial no final da última torre do equipamento, uma vez que a velocidade de deslocamento aumenta na medida que o pivô se afasta de sua base, ou seja, a velocidade da última torre é maior do que a velocidade da primeira, dessa forma, a taxa de aplicação de água na seção final da lateral tende a ser maior do que nas seções iniciais (MAROUELLI; BRAGA; GUIMARÃES, 2013). Esse problema vem sendo corrigido com o desenvolvimento de

tecnologias de aspersão melhoradas e aplicadas em pivôs centrais modernos, porém ainda se faz necessário o conhecimento prévio das capacidades de drenagem do solo de maneira a evitar erosões laminares na área irrigada.

Outro problema associado ao tipo de solo é a ocorrência de diferentes tipos de solo sob a área irrigada de um único pivô central. Caso áreas com condições distintas de drenagem estejam localizadas em um setor específico do pivô central, deve-se tentar adotar estratégias distintas de irrigação para cada área, de maneira a evitar problemas com processos erosivos. Na área de estudo, essa preocupação deve existir principalmente em pivôs centrais implantados em áreas de argissolos, uma vez que são solos bem sucessíveis a erosão hídrica.

A declividade também é um fator que deve ser levado em consideração na implantação de irrigação por pivôs centrais, uma vez que influi diretamente na drenagem do solo e na aptidão da área para implantação de pivôs centrais. Se compararmos o Mapa de pivôs centrais existentes em 2019 com o mapa de declividade do território da UGRHI 17, anteriormente apresentados e discutidos, pode-se observar que os equipamentos estão implantados, em sua maioria, em áreas com declividade de até 20% com relevo transitando do plano na região de Cruzália até o suave ondulado e ondulado na região de Bernardino de Campos e Avaré. Pode-se concluir então que o relevo da UGRHI 17, quase que em sua totalidade, favorece a implantação de pivôs centrais.

No geral, o território da UGRHI 17 possui características físicas como clima, pedologia e declividade favoráveis a implantação dos sistemas de irrigação. Porém, ainda se faz necessário uma discussão sobre a cobertura da terra nas áreas ocupadas por pivôs centrais.

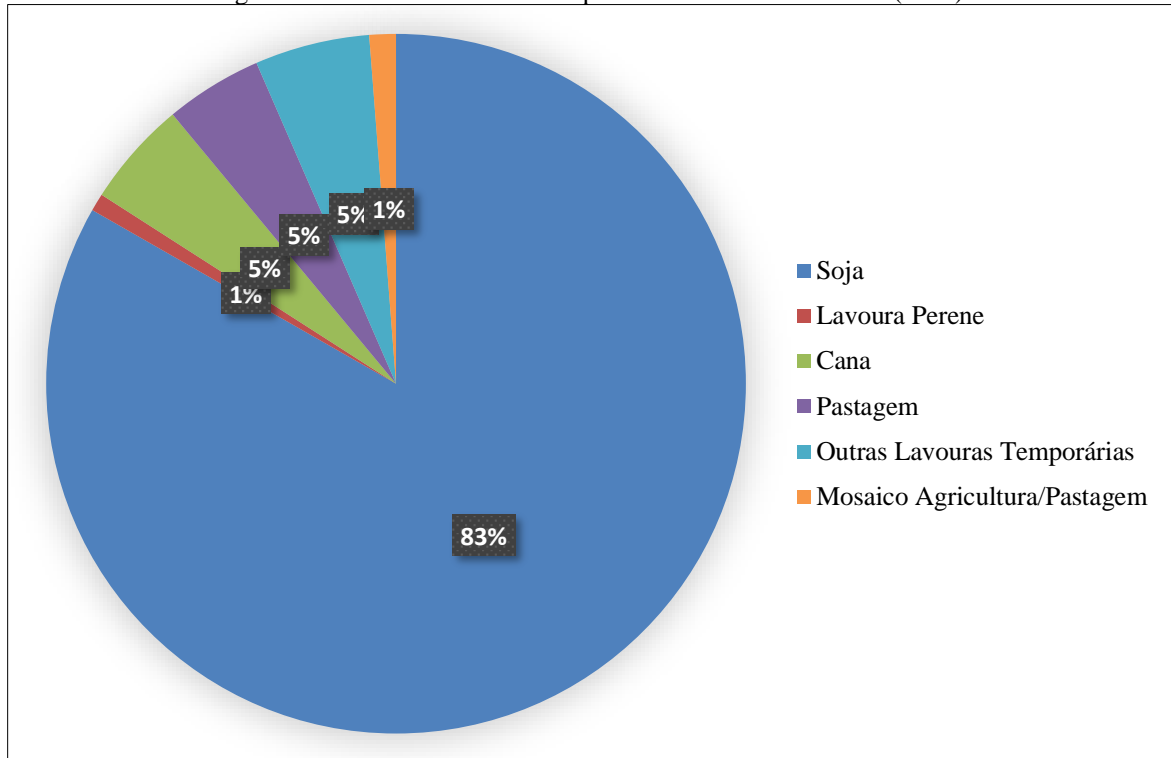
Com o mapa de uso e cobertura da terra da UGRHI 17 e o mapeamento dos pivôs centrais existentes na UGRHI 17, ambos do ano de 2019, elaborou-se uma análise da cobertura da terra em cada pivô central do território (Tabela 8 e Figuras 36 e 37).

Tabela 8 - Cobertura da terra por pivô central na UGRHI 17 no ano de 2019.

Cobertura	Área irrigada (ha)	Nº de pivôs centrais
Soja	11346,67	204
Lavoura Perene	118,31	2
Cana	652,1	12
Pastagem	213,88	11
Outras Lavouras Temporárias	583,32	13
Mosaico Agricultura/Pastagem	107,71	3
Total	12914,28	245

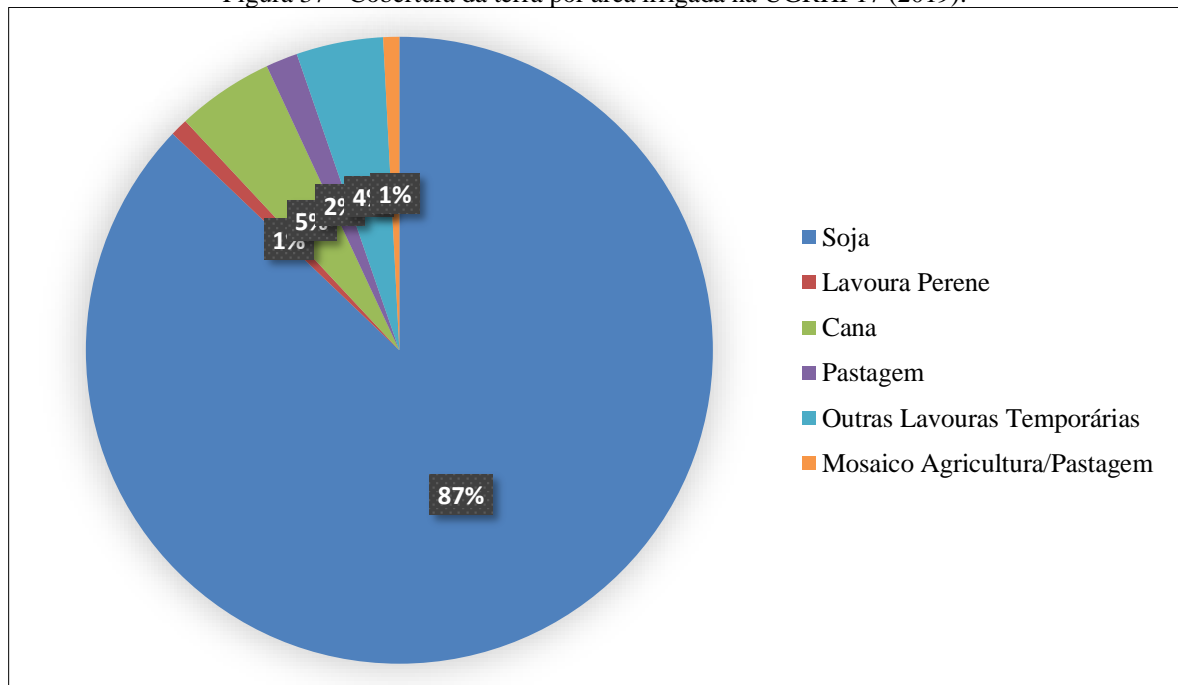
Fonte: Autoria própria, 2021.

Figura 36 - Cobertura da terra nos pivôs centrais da UGRHI 17 (2019).



Fonte: Autoria Própria, 2021.

Figura 37 - Cobertura da terra por área irrigada na UGRHI 17 (2019).



Fonte: Autoria Própria, 2021.

Se compararmos o Mapa de Cobertura da Terra da UGRHI 17 e o mapeamento de pivôs centrais existentes na UGRHI 17, ambos no ano de 2019, pode-se observar que 83% dos pivôs centrais estão sob áreas de cultivo de soja e 87% da área irrigada por pivôs centrais está coberta

pela leguminosa. Existem exceções no qual foram encontrados pivôs centrais em áreas classificadas como “outras culturas temporárias”, áreas de “cana de açúcar” e área de pastagem. Logo, pode-se concluir que, predominantemente, os pivôs centrais estão instalados em áreas de cultivo de soja, seguido pela cana-de-açúcar e áreas de pastagem e outras culturas em menor proporção.

É importante salientar que os produtores rurais que possuem pivô central tendem a desenvolver mais de uma cultura por ano. Segundo observações de campo realizadas, a maioria realiza o cultivo de soja intercalado com o cultivo de milho, realizando duas safras no ano. Alguns produtores mais tecnificados chegam a produzir uma terceira safra como o feijão. A cobertura “outras lavouras temporárias” pode apontar a situação citada acima onde havia a produção de uma segunda ou terceira safra na rotação com a soja, porém para um maior nível de certeza seria necessário um maior acompanhamento temporal por sensoriamento remoto.

Além disso, a maioria dos pivôs centrais existentes na UGRHI 17 está em municípios próximos ao Rio Paranapanema. Nessas áreas, existe uma predominância do cultivo de soja, a classe pedológica predominante é o latossolo, o relevo varia de plano para suave ondulado (declividade máxima de 8%), de acordo com os mapeamentos realizados.

Com o objetivo de caracterizar os irrigantes, buscou-se analisar, a partir das propriedades rurais com pivôs centrais instalados, a base de dados do Cadastro Ambiental Rural (CAR) do estado de São Paulo, porém os dados de localização e perímetro das propriedades rurais mostraram-se duvidosos pelo excesso de sobreposição de áreas e outros fatores como pivôs centrais que se sobrepunham em até três propriedades contíguas, não sendo possível utilizar adequadamente essa base de dados para informações sobre os perímetros das propriedades rurais.

Assim, foram levantados os dados do Sistema de Gestão Fundiária (SIGEF), ferramenta eletrônica desenvolvida pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) para subsidiar a governança fundiária do território nacional. O SIGEF fornece o perímetro de todas as propriedades rurais que foram certificadas pelo processo de georreferenciamento rural. O nível de precisão e acurácia do SIGEF quanto ao perímetro das propriedades rurais se mostrou superior ao do CAR, porém o SIGEF ainda não tem todas as propriedades cadastradas, deixando assim grande parte do território da UGRHI 17 sem dados, o que impossibilitou também a utilização do seu banco de dados.

Dessa forma, não foi possível caracterizar os irrigantes quanto ao tamanho de suas propriedades por escassez de dados confiáveis.

Seriam os irrigantes agricultores familiares (propriedades abaixo de quatro módulos fiscais) ou grandes proprietários rurais (propriedades acima de quatro módulos fiscais)?

Assim, conhecer o irrigante seria de fundamental importância para uma gestão da bacia hidrográfica eficaz e para isso torna-se necessário uma melhor coleta de dados pelo Estado.

Conforme apresentado no estudo, essa pesquisa respondeu a várias questões que envolvem o levantamento da agricultura irrigada, pivôs centrais e gestão de recursos hídricos, porém, algumas lacunas de conhecimento continuam abertas e que poderiam ser preenchidas por pesquisas posteriores.

Uma proposição seria o cruzamento de dados da situação das Áreas de Preservação Permanente – APP's *versus* a localização dos pivôs centrais na UGRHI 17, pois como a maioria dos pivôs centrais da UGRHI 17 realiza captação superficial, o estudo diagnosticaria a qualidade ambiental APP's em propriedades rurais com pivôs centrais para mensurar os impactos da captação de água.

Ademais, o Rio Paranapanema vem passando por uma crise hídrica desde outubro de 2018, motivada principalmente pela escassez de chuvas ocorridas na bacia hidrográfica. O acumulado das chuvas na bacia hidrográfica se mantém abaixo da média, alcançando os piores índices já registrados. Tal fato reflete diretamente no volume armazenado nas UHE que compõem o reservatório do Rio Paranapanema. De acordo com o boletim diário elaborado em 24/03/2021 da sala de situação da Bacia do Rio Paranapanema emitido pela ANA, a UHE Chavantes segue com 20,05% do seu volume útil, a UHE Jurumirim segue com 32,43% e, em melhores condições, estão a UHE Mauá com 78,44% de seu volume útil armazenado e a UHE Capivara com 60,09% de seu volume útil (2021).

Além da geração de energia hidroelétrica, a Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema também é utilizada, principalmente, para piscicultura, abastecimento urbano, irrigação, navegação e turismo. Nesse sentido, o Comitê do Rio Paranapanema tem se posicionado de maneira a privilegiar os usos múltiplos, manter o nível do reservatório mais alto possível nos períodos de estiagem e preservar as vazões ecológicas na defluência de todas as usinas da Bacia Hidrográfica (CBH-PARANAPANEMA, 2020).

Os irrigantes, usuários diretos do reservatório tendem a captar mais água justamente nas épocas de escassez de chuvas para suprir o déficit hídrico de suas culturas, o que coincide com o período mais crítico para os reservatórios. Um problema recorrente dos irrigantes, atestado em visitas de campo realizadas durante a elaboração da presente dissertação, é que em alguns períodos de crise hídrica o nível do reservatório fica abaixo do nível de instalação da bomba de captação, o que impossibilita a utilização da água do reservatório.

Atualmente, não existe regulamentação do Comitê de Bacias Hidrográficas do Médio Paranapanema que declare a bacia hidrográfica do Paranapanema como crítica, o que poderia inviabilizar a emissão futura de outorgas para usos múltiplos, incluindo irrigação. Tal fato evidencia que as captações realizadas ainda não atingiram o teto de disponibilidade e ainda existe espaço para implantação de novas captações nos reservatórios, entretanto, caso o regime de chuvas não se estabilize para que o nível operativo do reservatório volte ao normal, os usuários de recursos hídricos continuarão com o problema em relação a execução de suas captações.

Teoricamente, a irrigação é implantada para suprir déficit hídrico ocasionado pela falta e/ou irregularidade pluvial. Porém, o abastecimento de água do sistema de pivôs centrais, como demonstrado acima, é feito na maioria das vezes por captações superficiais. O abastecimento do corpo hídrico, por sua vez, é feito pelo afloramento subterrâneo e escoamento superficial da água pluvial. Logo, o déficit hídrico ocasionado por falta de chuvas também afeta diretamente o abastecimento do rio de onde a água é retirada para irrigação. A longo prazo essa relação pode entrar em colapso, uma vez que tanto agricultura e recursos hídricos precisam de chuvas para a sua existência.

Apesar do território propício para a implantação dos pivôs centrais, os mesmos não devem ser utilizados com o intuito de substituírem parte do ciclo hidrológico natural, uma vez que sem precipitação a vazão das bacias tende a diminuir e sem água no rio é impossível realizar captação superficial. A redução da vazão nas bacias hidrográficas pode levar os produtores a buscarem a água subterrânea como insumo dos equipamentos de irrigação, porém elas também são limitadas. Uma alternativa seria a utilização dos equipamentos de irrigação de maneira sustentável e aliados a revitalização das bacias da UGRHI 17, com o objetivo de assegurar a regularidade do ciclo hidrológico e que a irrigação possa ser utilizada como um complemento da produção agrícola e não como uma ferramenta indispensável.

Uma das formas de promover a revitalização das bacias hidrográficas seria por meio de técnicas de restauração ecológica de ambientes degradados. A restauração ecológica tem por objetivo a recuperação de um ecossistema em relação à sua saúde, integridade e sustentabilidade. Quando tratamos da revitalização das bacias hidrográficas da UGRHI 17 o ponto de partida poderia ser a restauração das áreas de preservação permanente que incidem sobre os corpos hídricos que são definidas pela Lei Federal n. 12.651 de 2012. A restauração das APP's degradadas ajudariam a preservar os rios e nascentes e, conseqüentemente, auxiliariam no ciclo hidrológico e impactariam o microclima local.

Pode-se atestar então que a agricultura irrigada, sem a preservação e revitalização de bacias hidrográficas, possui um resultado negativo a médio/longo prazo e todos os atores (usuários, CBHs, poder público, etc.) deveriam agir em conjunto para a revitalização das bacias hidrográficas, de maneira a preservar os recursos hídricos que são o início e fim dos problemas relacionados.

5.3 Gestão de recursos hídricos e a expansão de pivôs centrais na UGRHI 17

A existência do pivô central pode trazer diversos benefícios para a produção agrícola, como a aplicação de água em quantidade adequada para satisfazer os requisitos da cultura em suas diversas fases de crescimento; plantio mais uniforme, uma vez que com a irrigação é possível manejar a umidade do solo, não sendo mais necessária à espera da chuva para realização do plantio; e a aplicação de defensivos e fertilizantes. Porém, o sistema deve ser muito bem manejado para que não exerça grande pressão na bacia hidrográfica na qual foi instalado.

Pelas imagens satélites, foi possível observar a existência de vários pivôs instalados próximos uns dos outros, o que evidencia que existem captações superficiais próximas umas das outras na mesma microbacia. Tal fato chama atenção, uma vez que, os pivôs centrais consomem grande quantidade de água.

Como já citado anteriormente, a outorga tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo da água e disciplinar sua utilização, de maneira a compatibilizar a demanda e disponibilidade dos recursos hídricos (BRASIL, 1997). Ao considerarmos que a outorga dá ao usuário o direito de utilização de um bem público, devemos levar em consideração que o usuário também tem obrigações que devem ser seguidas para com a sociedade, como: utilizar os recursos hídricos de acordo com a vazão e forma de utilização dispostos nas portarias publicadas de outorga.

Isso levanta uma grande questão no uso da água para irrigação, do qual devemos partir de 3 considerações: A primeira é que o consumo de água de um pivô central pode ser considerado relativamente alto. A segunda é que o DAEE outorga apenas 50% da vazão de permanência de 95% do tempo ($Q_{95\%}$) do ponto de interesse (CBH-MP, 2018) e a terceira é de que o mapeamento dos pivôs centrais no ano de 2019 mostra que existem diversos pivôs agrupados sob uma mesma área.

Baseado nessas três considerações levanta-se o questionamento se a captação dos pivôs centrais segue o que está estabelecido na outorga. A única garantia que o poder público teria

em relação a esse questionamento seria a partir do monitoramento dos dados dos medidores de vazão que deveriam ser instalados em toda captação superficial e subterrânea. A Portaria DAEE nº 5.578/2018 estabelece a obrigatoriedade de instalação dos hidrômetros, porém não se evidenciou em trabalhos de campo o monitoramento da vazão registrada pelos medidores de vazão, devendo esse registro ser feito pelo usuário e estar à disposição em possíveis fiscalizações.

Levando em consideração que a fiscalização dos hidrômetros é pouco realizada, não há uma garantia de cumprimento da vazão estipulada na outorga pelos irrigantes, o que pode causar pressão nas bacias hidrográficas e dificultar o planejamento e gestão dos recursos hídricos da UGRHI 17.

O estudo realizado de sensoriamento remoto evidenciou que são necessários mais estudos sobre o monitoramento e utilização de recursos hídricos, e principalmente dos números de demanda *versus* consumo apresentados pelo próprio Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema no Plano de Bacia Hidrográfica e utilizados como base para elaborações políticas públicas.

Apesar de corresponder a maior parcela do consumo, o uso rural e a irrigação não são citados na deliberação que aprovou a proposta para implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos na UGRHI 17, de acordo com o Decreto Estadual nº 50.667/2006. Com a ausência de exigência/fiscalização da leitura dos hidrômetros e ausência de cobrança monetária pelo uso da água é questionável a eficiência das políticas públicas no que tange a correta operação dos equipamentos de irrigação.

Uma vez que existe a normativa a ser seguida (outorga) e pouco se observa da devolutiva pública quanto a cobrança pelo cumprimento da legislação (fiscalização), o resultado pode incentivar captações acima do limite estabelecido pela outorga.

Em situação de escassez relativa, as medidas de controle precisam ser exercidas considerando o regime de uso, poluição, erosão do solo e assoreamento (LIMA, 1997).

Dentre os mecanismos de gestão de recursos hídricos à disposição do Poder Público, o zoneamento ambiental tem se destacado como instrumento estratégico de planejamento regional, buscando a compatibilização entre desenvolvimento econômico e qualidade ambiental. Uma melhor abordagem de zoneamento levando em consideração a característica dos recursos hídricos poderia ser uma alternativa ao simples cálculo da vazão de permanência utilizado atualmente.

O zoneamento pode ser feito por meio de um melhor enquadramento dos corpos hídricos, sendo esse um instrumento de gestão já instituído pela Política Nacional de Recursos

Hídricos (BRASIL, 1997). O zoneamento poderia determinar as microbacias com maior aptidão para implantação de pivôs centrais.

O zoneamento para implantação dos pivôs centrais visaria promover uma melhor distribuição dos equipamentos dentro da UGRHI 17, de forma a evitar a aglutinação e grande pressão dos equipamentos sobre os recursos hídricos.

O Comitê de Bacias Hidrográficas deve possuir uma representatividade plural entre todos os usuários de recursos hídricos existentes no território, de maneira que os seus representantes sejam agentes de poder e possam trazer às plenárias suas necessidades e interesses perante a gestão dos recursos hídricos.

Em consulta realizada ao site do Comitê de Bacias Hidrográficas do Médio Paranapanema, para a o Biênio 2020/2021, não há nenhum membro ou associação que represente diretamente os irrigantes existentes no território. O Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema encontra-se atualmente em processo de eleição de novos membros, porém na plenária anterior (2019/2020) já existia como membro titular a Associação do Sudoeste Paulista de Irrigantes e Plantio de Palha – ASPIPP.

Dessa forma, o setor rural que representa a maior demanda de consumo de água, em grande parte pela atividade de irrigação, não possui uma boa representatividade junto ao CBH-MP. Muito dos irrigantes se quer sabem da existência do Comitê de Bacias Hidrográficas e de sua função e os afasta dos instrumentos de gestão, que são elaborados sem a contrapartida por parte dos irrigantes. Tal fator pode ser significativamente negativo para todo o sistema de gestão de recursos hídricos, pois reduz a pluralidade da plenária que não traz à tona a problemática da expansão da agricultura irrigada dentro da UGRHI 17.

A ausência de uma boa representatividade dos irrigantes dentro dos Comitês de Bacia reflete diretamente nos Planos de Bacia Hidrográfica. No Plano de Bacia Hidrográfica da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (2018) a irrigação por pivôs centrais é citada de maneira superficial, sendo apontada a existência de 127 pivôs centrais na UGRHI 17 em 2018 e sua quantificação de área ocupada em relação ao território total.

O Plano Integrado de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paranapanema (2016) reconhece a UGRHI 14 (Alto Paranapanema) como o território com maior concentração de pivôs centrais e como maior PIB agropecuário. O Plano também cita que foram contabilizados pela ANA e EMBRAPA cerca de 1.687 pivôs centrais no território da UGRHI Paranapanema em 2013, sendo 1.566 no estado de São Paulo com 86% desses pivôs no território da UGRHI 14. O Plano Integrado de Recursos Hídricos da UGRHI Paranapanema

também apresenta que há déficits hídricos ocasionados pela irrigação na UGRHI 14, porém a situação ainda não é crítica devido a utilização de pequenos reservatórios para abastecimento dos pivôs centrais e também pelo fato de que os períodos de irrigação não coincidem com os períodos de baixa pluviosidade.

Ambos os planos (UGRHI 17 e UGRHI Paranapanema) tratam de quantificação de pivôs centrais, porém não existe qualquer meta ou plano de melhoria voltada ao controle ou monitoramento do consumo de água superficial para irrigação. Talvez o fato da irrigação não mudar consideravelmente as características físico-químicas da água (exclui-se fertirrigação) e também da infiltração da água diretamente no solo após ou até mesmo a ausência de representatividade dos irrigantes dentro das plenárias possam ser justificativas para carência de medidas de gestão e debate sobre o tema, sendo necessários mais estudos sobre o tema para uma conclusão mais robusta.

Atualmente, dentre os instrumentos de gestão de recursos hídricos existentes, apenas a outorga de direito de uso de recursos hídricos tem se mostrado ativa na UGRHI 17, sendo necessários investimentos em ações para atendimento dos demais instrumentos previstos nas políticas públicas pertinentes ao tema.

O setor do agronegócio também deve apresentar a devolutiva do respeito aos limites impostos pelo poder público, principalmente no quesito de volume captado para irrigação, uma vez que também são usuários de recursos hídricos e dependem deles para o funcionamento de seus pivôs centrais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de irrigação por pivô central se mostrou presente na maioria dos municípios da UGRHI 17. Foi diagnosticado que o número de equipamentos e área irrigada teve um crescimento considerável, partindo de 13 equipamentos e 1.755,95 ha irrigados no ano de 2000 para 245 equipamentos e 12.914,28 ha irrigados no ano de 2019.

Os resultados também apontaram que a UGRHI 17 possui em seu território clima Cfa e Cwa, relevo plano a suave ondulado, em sua maioria, e predominância de latossolos e argissolos. A UGRHI 17 tem 24% do território ocupado pelo cultivo de cana-de-açúcar, 23% com áreas de pastagem e 16% com o plantio de soja. A análise comparativa entre os mapas de uso do solo e pivôs centrais existentes no ano de 2019 evidenciou que a grande maioria dos pivôs centrais está instalada sob áreas de cultivo de soja, com algumas exceções em áreas de cana-de-açúcar e outras lavouras temporárias.

Logo, podemos concluir que a UGRHI 17 possui um território favorável a implantação da agricultura irrigada. Porém, deve-se levar em consideração que o usuário deve prezar pela eficiência de aplicação do uso da água com esse tipo de equipamento e também pela revitalização das bacias hidrográficas no qual os equipamentos estão inseridos, caso contrário, a demanda pode impactar significativamente a bacia hidrográfica.

Considerando a preocupação de escassez da água, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema, bem como o órgão estadual responsável (DAEE), devem buscar melhorias em suas políticas de gestão e propor soluções para o uso adequado do recurso hídrico na área de estudo. Para isso, poderiam solicitar a implantação de um sistema de monitoramento da vazão dos equipamentos outorgados e implantar a cobrança pelo uso da água para os irrigantes, mesmo que, num primeiro momento, seja feita com valores simbólicos, pois é necessário que os produtores rurais levem em consideração as restrições de disponibilidade de água para captação no processo de planejamento e implantação de sua irrigação. Caso o equipamento já esteja implantado deve ser priorizada a utilização do mesmo em máxima eficiência de aplicação, reduzindo assim o consumo de água, gasto de energia elétrica e demais impactos gerados pela operação do sistema.

Existem alternativas e ferramentas que podem ser melhor exploradas para o planejamento da implantação dos sistemas de irrigação, além da outorga de direito de recursos hídricos, como o enquadramento dos recursos hídricos e a cobrança pelo uso da água. Além disso, se faz necessária uma aproximação entre os irrigantes e os Comitês de Bacia

Hidrográfica, de maneira que possam participar ativamente do processo de gestão de recursos hídricos e tornar a plenária mais plural e efetiva.

7 REFERÊNCIAS

- ADDINK, J. W., KELLER, J., PAIR, C. H., SNEED, R. E., WOLFE, J. **Desing and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph. 1983.
- ALVES, A. C., CONCEIÇÃO, P. E. A. **Levantamento do uso e ocupação do solo por meio de imagens TM-Landsat-5 e ADS-80 para o município de Manaus/AM**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. Anais... São José dos Campos: INPE, 2015. p. 5881-5888. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1210.pdf>. Acesso em: 25 out. 2020.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Atlas da Irrigação: uso na agricultura irrigada**. Brasília. 2017.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Boletim Diário Paranapanema 24 de março de 2021**. Brasília. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/sala-de-situacao/paranapanema/boletins/diario/paranapanema-1616613094.54.pdf/view>. Acesso em: 24, mar. 2021.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **O Comitê de Bacia Hidrográfica: O que é e o que faz?** Brasília. 2011. 64 p.: il.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**. Agência Nacional de Águas, Embrapa Milho e Sorgo. – Relatório Síntese. -. Brasília: ANA, 2016. 33 p.: il.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil**. Agência Nacional de Águas, Embrapa Milho e Sorgo. - 2. ed. -. Brasília: ANA, 2019. 47 p.: il.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (Brasil). **Coefficientes Técnicos de Uso da Água Para Agricultura Irrigada**. Brasília. 2019. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_coeficientes_agricultura_irrigada_vf.pdf ada_vf.pdf. Acesso em: 9 fev. 2020.
- BARBOSA, B. D. S., **Características Hidráulicas e Energéticas de um Pivô central**. Lavras. 2016. Disponível em <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/12278>. Acesso em: 9 fev. 2020.
- BERNARDO, S., SOARES, A. A., MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7ª. ed. Viçosa: UFV, 2005. 611p.
- BHERING, S. *et al.* **Geotecnologias Aplicadas ao Zoneamento Agroecológico do Estado do Mato Grosso do Sul**. Soc. & Nat., nº 26. p. 171-187. Uberlândia. 2014. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/sn/v26n1/0103-1570-sn-26-1-0171.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2020.
- BRAGA, A. L., OLIVEIRA, J. C. **Identificação e quantificação de áreas irrigadas por pivô central utilizando imagens CCD/CIBERS** . In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. Goiânia. INPE. P 849-856. 2005.

BRASIL. **Decreto Lei 9.433**, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]. Brasília, 1997, 470 p.

BRASIL. **Decreto Lei n. 12.651**, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]. Brasília, 2012.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. New York: The Guilford Press. 1966.

CARVALHO, A. C., NERY, J. T. Estudo da Variabilidade Pluviométrica da Bacia do Médio Paranapanema (UGRHI 17). **Revista Geonorte**, Edição Especial, V.2, N. 4, p. 870 – 877, 2012.

CARVALHO, D. F., SILVA, L. D. B. A evolução dos pivôs. **A Granja**, p. 44-46, 2007. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/daniel/Downloads/Material/Pos-graduacao/Agricultura%20Irrigada/705pivos.pdf>. Acesso em: 01 out. 2019.

CASTRO, C. N. **Gestão das Águas: Experiências Internacional e Brasileira**. IPEA. Brasília. 2004. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/1132/1/TD_1744.pdf. Acesso em: 29 jan. 2021.

CBH-MP – COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICAS DO MÉDIO PARANAPANEMA. **Estatuto do CBH-MP**. Anexo a Deliberação CBH-MP 026/2000 de 15 de dezembro de 2000, que aprova e reforma o estatuto do Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema. São Paulo. 2000.

CBH-MP – COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICAS DO MÉDIO PARANAPANEMA. **Deliberação CBH-MP 057/03 de 09/12/03**. Aprova o Projeto Regional “Programa de Agricultura Irrigada do Médio Paranapanema”. São Paulo. 2003

CBH-MP – COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICAS DO MÉDIO PARANAPANEMA. **Deliberação CBH-MP/149/2012 de 13/12/2012**. Aprova a proposta para implantação da cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio do Estado de São Paulo dos usuários urbanos e industriais, no âmbito da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI-17) e dá outras providências. 2012.

CBH-MP – COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICAS DO MÉDIO PARANAPANEMA. **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema**. 2018. Disponível em: <http://cbhmp.org/publicacoes/pbh/>. Acesso em: 25 fev. 2019.

CBH-MP – COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICAS DO MÉDIO PARANAPANEMA. **Relatório Zero**. 1999. Disponível em: <http://cbhmp.org/publicacoes/relatorioz/>. Acesso em: 25 fev. 2019.

CBH-Paranapanema – COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAPANEMA. **Crise Hídrica é Pauta na Plenária do Comitê do Rio Paranapanema**. 2020. Disponível em: <https://www2.paranapanema.org/crise-hidrica-e-pauta-na-plenaria-do-comite-do-rio-paranapanema/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

CBH-Paranapanema – COMITÊ DE BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARANAPANEMA. **Plano Integrado de Recursos Hídricos da Unidade de Gestão de Recursos Hídricos Paranapanema**. 2016. Disponível em: <https://www2.paranapanema.org/plano-de-bacia/>. Acesso em: 25 jan. 2021.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**. 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/publicacoes-e-relatorios/>. Acesso em: 11 ago. 2019.

COLOMBO, A. **Pivô central**. In: MIRANDA, J. H. de; PIRES, R. C. de. M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2003.

COOPER, M., VIDAL-TORRADO, P. Caracterização Morfológica, Micromorfológica e Físico-Hídrica de Solos com Horizonte B Nítico. **Revista Brasileira de Conservação do Solo**, Viçosa, v. 29, n. 4, p. 581-595. 2005.

COSTA, W.D.; COSTA, W.D. **Disponibilidades hídricas subterrâneas na Região Nordeste**. A Água em Revista, Belo Horizonte, n.9, p.47-59, 1997.

CPLA - COORDENADORIA DE PLANEJAMENTO AMBIENTAL (São Paulo). **Modelo Digital de Elevação do Estado de São Paulo**. São Paulo: CPLA, 2013. Escala: 1:50.000.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2015**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasil. 2005.

CHRISTOFIDIS, D. **Considerações sobre conflitos e uso sustentável em recursos hídricos**. In: THEODORO, S. H. (Org.). **Conflitos e uso sustentável dos recursos naturais**. Brasília: Garamont, p. 13-28, 2002.

DAEE/IG/IPT/CPRM – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA/ INSTITUTO GEOLÓGICO/ INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS/ SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. 2005. **Mapa de Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo, escala 1:1.000.000**. Nota explicativa. DAEE/ IG/IPT/CPRM/, São Paulo, 3 v. (mapa e CDROM).

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Banco de dados hidrológicos**. 2021. Disponível em: <http://www.hidrologia.dae.sp.gov.br/>. Acesso em: 25 fev. 2021.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Portaria nº 1.630, de 30 de maio de 2017**. Dispõe sobre procedimentos de natureza técnica administrativa para obtenção de manifestação e outorga de direito de uso e interferência em recursos hídricos de

domínio do Estado de São Paulo. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 30 maio. 2017.

DAEE – DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA. **Portaria nº 5.578, de 05 de outubro de 2018.** Dispõe sobre condições e procedimentos para instalação e a operação de equipamentos medidores de vazão e volumes de água captados ou derivados, relacionados com outorgas de direito de uso de recursos hídricos ou sua dispensa. Diário Oficial do Estado de São Paulo, 05 outubro. 2018.

EMBRAPA – EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Análise do Desempenho da Irrigação.** 2002. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/24826/1/doc_70.pdf. Acesso em: 09 fev. 2020.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Reunião Técnica de Levantamento de Solos.** Rio de Janeiro. 83p. 1979.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de classificação de solos.** 5. ed., ver. ampl., Brasília – DF, 2018. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2020.

EMBRAPA - EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Zoneamento Agroecológico da Cana-de-açúcar.** Rio de Janeiro. 55p. Embrapa Solos. 2009.

ERTHAL, E. S., BERTICILLI, R. Sustentabilidade: Agricultura irrigada e seus impactos ambientais. **CIENTEC**, v. 2, n. 1, p. 64-74, 2018.

FEICHAS, S. A. Q., **Fatores que Facilitam e Dificultam o Funcionamento do Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.** 2002. 162 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universidade Federal Fluminense. Niterói. 2002.

FARIA, L. C., COLOMBO, A., OLIVEIRA, H. F. E., PRADO, G. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 19-27, 2009.

FERREIRA, M. L. P. C. A pulverização aérea de agrotóxicos no Brasil: cenário atual e desafios. **Revista de Direito Sanitário**, v. 15, n. 3, p. 18-45, 2015.

FRANCISCO, P. R. M., MEDEIROS, R. M., SANTOS, D., MATOS, R. M. Classificação Climática de Köppen e Thornthwaite para o Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Paraíba, V. 08, N. 04, 2015.

GIAMPA, C. E. Q., SOUZA, J. C. Potencial Aquífero dos Basaltos da Formação Serra Geral no Estado de São Paulo. **Revista DAE**, ed. 131, p. 67–72. 1982. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_131_n_1119.pdf. Acesso em: 02 mar. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Agropecuário – Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação.** Rio de Janeiro. 2006. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf. Acesso em: 8 mar. 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades: Panorama do Brasil**. Rio de Janeiro. 2020. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/panorama>. Acesso em: 12 mar. 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produto Interno Bruto dos Municípios**. Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais/9088-produto-interno-bruto-dos-municipios.html?=&t=resultados>. Acesso em: 17 jul. 2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro, 2ª Edição, 2007. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv37318.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2020.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (São Paulo). **Limite de UGRHI**. São Paulo: IGC, 2011. Escala 1:1.000.000.

INSTITUTO GEOGRÁFICO E CARTOGRÁFICO (São Paulo). **Limite Municipal do Estado de São Paulo**. São Paulo: IGC, 2015. Escala 1:50.000.

JURCA, J. **Classificações Climáticas: Variações Temporoespaciais e Suas Aplicações nos Livros Didáticos e Como Subsídio ao Zoneamento Agroclimático**. 2005. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia. São Paulo. 2005.

KER, J. C. Latossolos no Brasil: Uma Revisão. **Revista Geonomos**. V. 5, n. 1, 1997, p. 17-40. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistageonomos/article/view/11493>. Acesso em: 27 set. 2020.

KETTELHUT, J. T. S. **Os avanços da Lei das Águas**. In: III Encuentro de las águas: água, vida y desarrollo, 2001, Santiago, Chile. Anais eletrônicos... Santiago, Chile, 2001. Disponível em: http://www.aguaboliviana.org/situacionaguaX/IIIEncAguas/contenido/tema_azul.htm.

LANDAU, E. C., GUIMARÃES, D. P., SILVA, P. A. A., SOUZA, D. L. **Concentração de áreas irrigadas por pivôs centrais no Estado de São Paulo**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, 100. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2014.

LANDAU, E. C., GUIMARÃES, D. P., REIS, R. J. **Mapeamento das Áreas Irrigadas por Pivôs Centrais no Estado de Goiás e no Distrito Federal – Brasil**. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Milho e Sorgo, 77. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2013.

LEAL, A. C. **Planejamento Ambiental de Bacias Hidrográficas Como Instrumento para Gerenciamento de Recursos Hídricos**. Revista Entre-Lugar, Dourados, Mato Grosso do Sul, ano 3, n.6, p 65-84, 2012.

LIMA, A. S. **Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão do tipo pivô central móvel**. 2003. 62 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, 2003.

LIMA, C. A. A. **O uso do modelo QUAL2E na simulação da qualidade das águas do rio Jacaré-Guaçu**. São Carlos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 1997.

MAIA NETO, R.F. **Água para o desenvolvimento sustentável**. A Água em Revista, Belo Horizonte, n.9, p.21-32, 1997.

MARTORANO, L. G. **Zoneamento Agroecológico da Quadricula de Ribeirão Preto, SP, com Base em Características de Solo, Relevo e Clima**. 1998. 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

MASCARENHAS, A. C. **Comitê de Bacia Hidrográfica: o que é, como funciona, e que papel desempenha na gestão dos recursos hídricos**. In: Plenarium, ano III, n. 3, Câmara dos Deputados, 2006.

MENESES, P. R.; SANO, E. E. **Classificação Pixel a Pixel de Imagens**. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (org.) *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*. Brasília: CNPq, 2012. 266 p.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 2a ed. Ed. Edgard Blucher Ltda., São Paulo, SP, 208 p., 1992.

NUTT-POWEL, T. E., LANDERS, S. **Center Pivot Irrigation in Nebraska: An Institutional Analysis Case Study**. MIT Energy Laboratory. 1979. Disponível em <https://core.ac.uk/download/pdf/4397901.pdf>. Acesso em: 01 out. 2019.

OLIVEIRA, E. C. **O Comitê de Bacia e a gestão das águas no médio Paranapanema: um estudo sob a perspectiva do desenvolvimento sustentável**. 2009. 288 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade Ciências e Tecnologia, 2009.

PEEL, M. C., FINLAYSON, B. L., McMAHON, T. A., **Updated World Map of the the Köppen-Geiger Climate Classification**. Hydrology And Earth System Sciences. 2007. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/26640584_Updated_World_Map_of_the_Koppen-Geiger_Climate_Classification/link/02e7e52561433e9d59000000/download. Acesso em: 01 jul. 2020.

PINHATI, F. S. C. **Simulações de Ampliações da Irrigação por Pivô Central na Bacia do Rio São Marcos**. 2018. 132 f. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade de Brasília. Brasília. 2018.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil**. 2020. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 22 ago. 2020.

PROJETO MAPBIOMAS. **Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) – Collection 5. V. 1**, 2020. Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/ATBD_Collection_5_v1.pdf. Acesso em: 23 ago. 2020.

PROJETO MAPBIOMAS. **Coleção 5 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso do Solo do Brasil - Irrigação**. 2020. Disponível em: https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=pt-BR. Acesso em: 21 abr. 2021.

QUIRINO, D. T., SALES, L. F. P., SILVA, O. F. **Aplicação do sensoriamento remoto para análise temporal em agriculturas irrigadas por pivô central no município de Cristalina-GO**. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Curitiba. INPE, p.0154. 2011.

REBOUÇAS, A. C., BRAGA, B., TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3ª. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006. 748p.

REX, F. E., KAFER, P. S., DEBASTIANI, A. B., KAZAMA, V. S. **Potencial de imagens MSI (Sentinel-2) para classificação do uso e cobertura da terra**. Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer. Goiânia. 2018. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2018a/agrar/potencial%20de%20imagens.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2019.

RIBEIRO, T. A. P., PATERNIANI, J. E. S., **Microaspersores entupidos devido a problemas de ferro na água**. Ciência Rural, Santa Maria, v.38, n.5, p.1456-1459, 2008.

RODRIGUES, G. S., IRIAS, L. J. M. **Considerações sobre impactos ambientais na agricultura irrigada**. Circular Técnica 7. Jaguariúna. Embrapa. 2004.

ROSSI, M. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: revisado e ampliado**. São Paulo: Instituto Florestal, V.1, 118p, 2017.

SCHIAVETTI, A., CAMARGO, A. F. M (org.). **Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações**. Bahia, cap. 1, p. 17-18, 2002.

SALASSIER, B. **Impacto Ambiental da Irrigação no Brasil**. Universidade Estadual Norte Fluminense, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: http://www2.feis.unesp.br/irrigacao/imagens/winotec_2008/winotec2008_palestras/Impacto_ambiental_da_irrigacao_no_Brasil_Salassier_Bernardo_winotec2008.pdf. Acesso em: 06 out. 2019.

SANDRI, D., CORTEZ, D. A. **Parâmetros de desempenho de dezesseis equipamentos de irrigação por pivô central**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 33, n. 1, p. 271-278, 2009.

SANO, E. E., PINHATI, F. S. C. Espaço rural do oeste baiano: Identificação de áreas agrícolas sob sistema de plantio direto por meio de dados obtidos por câmera digital e satélite CBERS-2 CCD. **Revista Geografia**. Rio Claro. v. 34. n. 1. p. 117-129. 2009.

SCHMIDT, W., COELHO, R. D., JACOMAZZI, M. A., ANTUNES, M. A. H. Distribuição espacial de pivôs centrais no Brasil: I – Região Sudeste. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, n. 2/3, p. 330-333, 2004.

SCOLARI, D., D., G. Produção agrícola mundial: o potencial do Brasil. **Revista da Fundação Milton Campos**, Brasília, DF, nº. 25, p. 09-86. 2006

SÃO PAULO. **Decreto Estadual Lei nº 7.663, de 30 de dezembro de 1991.** Estabelece as normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos bem como ao Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Assessoria Técnico-Legislativa, São Paulo, 1991.

SÃO PAULO. **Decreto Estadual Lei nº 9.034, de 27 de dezembro de 1994.** Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH, a ser implantado no período de 1994 a 1995, em conformidade com a Lei 7663, de 30/12/91, que instituiu normas de orientação à Política Estadual de Recursos Hídricos. Assessoria Técnico-Legislativa, São Paulo, 1994.

SÃO PAULO. **Decreto Estadual Lei nº 16.337, de 14 de dezembro de 2016.** Dispõe sobre o Plano Estadual de Recursos Hídricos – PERH, e dá providências correlatadas. Assessoria Técnico-Legislativa, São Paulo, 2016.

SÃO PAULO. **Decreto Estadual Lei nº 41.258, de 31 de outubro de 1996.** Aprova o Regulamento da outorga de direito de uso dos recursos hídricos, de que tratam os artigos 9º a 13º da Lei 7.663, de 30/12/1991. Assessoria Técnico-Legislativa, São Paulo, 1996.

SÃO PAULO. **Decreto Estadual Lei nº 50.667, de 30 de março de 2006.** Regulamenta dispositivos da Lei 12.183, de 2005, que trata da cobrança pela utilização dos recursos hídricos do domínio do Estado de São Paulo. Assessoria Técnico-Legislativa, São Paulo, 2006.

SÃO PAULO. **Resolução Conjunta SMA/SAA/SJDC nº 01, de 27 de dezembro de 2011.** Dispõe sobre o licenciamento ambiental para atividades agropecuárias no Estado de São Paulo. São Paulo, 2011.

SEADE – FUNDAÇÃO SISTEMA ESTADUAL DE ANÁLISE DE DADOS. **Informações Demográficas, Econômicas e de Finanças Públicas.** São Paulo, 2012. Disponível em: <http://www.seade.gov.br/>. Acesso em: 25 fev. 2019.

SETTI, A. A., LIMA, J. E. F. W., CHAVES, A. G. M., PEREIRA, I. C. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos.** Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica: Agência Nacional de Águas, 2001. Disponível em: http://www.comitepcj.sp.gov.br/download/livro_Introd-Gerenc-Rec-Hidr.pdf. Acesso em: 6 out. 2019.

SILVA, C. A., SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Garça, v. 4, n. 8, p. 12-16, 2015.

SILVA, F. H. B. B. da, SILVA, M. S. L. da, CAVALCANTI, A. C. **Descrição das Principais Classes de Solos.** São Paulo, 2005. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/157911/descricao-das-principais-classes-de-solos>. Acesso em: 6 set. 2020.

SILVEIRA, J. M. de C. A importância da agricultura irrigada na sub-bacia Tambaú/Verde, Região Nordeste Paulista. **Pesquisa & Tecnologia**, v. 8, n. 2, 2011. Disponível em: <http://www.aptaregional.sp.gov.br/acesse-os-artigos-pesquisa-e-tecnologia/edicao-2011/2011-julho-dezembro/1108-a-importancia-da-agricultura-irrigada-na-sub-bacia-tambau-verde-regiao-nordeste-paulista/file.html>. Acesso em: 06 out. 2019.

SOARES, F. S., FREITAS, L. F., GOMES-LOEBMANN, D., GOMES, R. A. T., JÚNIOR, O. A. C., GUIMARÃES, R, F. **Valorização das Unidades de Paisagem a Partir das Áreas Irrigadas por Pivô Central na Bacia do Rio Preto.** In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 415-422. 2007.

TEISSEDRE, J. M. **Água Subterrânea na Irrigação.** In: X Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, 1997, Anais. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22348/14682>. Acesso em: 03 mar. 2021.

TESTEZLAF, R. **Irrigação: Métodos, sistemas e aplicações.** Campinas, SP: Unicamp/FEAGRI, 2017.

TOLEDO, C. E., ALBUQUERQUE, P. E. P., SOUZA, C. M. P. Eficiência da Aplicação da Água por Pivô Central em Diferentes Regiões de Minas Gerais. **Irriga**, Botucatu, v. 22, n. 4, p. 821-831, outubro-dezembro, 2017.

TUNDISI, J. G. Recursos Hídricos no Futuro: problemas e soluções. **Estudos Avançados**, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008.

TUNDISI, J. G., **Água no século XXI: enfrentando a escassez**, São Carlos, RIMA, IEE, 3º ed., 2003.

USGS – UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. Earth Explorer. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 8 mar. 2020.

VANNOTE, R. L., MINSHALL, G. W., CUMMINS, K. W., SEDELL, J. R., & C. E. CUSHING. **The River Continuum Concept.** Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 37. 1980.

VIEIRA, G. H. S. MANTOVANI, E. C., SILVA, J. G. F., RAMOS, M. M., SILVA, C. M., Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 1-6, 2004. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v8n1/v8n1a01.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2020.