

MÍRIAN PAULA MEDEIROS ANDRÉ PINHEIRO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL HIDROLÓGICO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE
AVARÉ (SP) PARA SEGURANÇA HÍDRICA LOCAL**

Botucatu

2018

MÍRIAN PAULA MEDEIROS ANDRÉ PINHEIRO

**CARACTERIZAÇÃO ESPACIAL DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE AVARÉ (SP)
UTILIZANDO GEOTECNOLOGIAS**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione

Botucatu

2018

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

P654c	Pinheiro, Mírian Paula Medeiros André, 1986- Caracterização espacial da estação ecológica de Avaré (SP) utilizando geotecnologias / Mírian Paula Medeiros André Pinheiro. - Botucatu: [s.n.], 2018 100 p.: fots. color., grafs. color., ils. color., tabs. Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2018 Orientador: Rodrigo Lilla Manzione Inclui bibliografia 1. Geotecnologia ambiental. 2. Sensoriamento remoto. 3. Águas subterrâneas. 4. Irrigação. I. Manzione, Rodrigo Lilla. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.
-------	--

Elaborada por Ana Lucia G. Kempinas - CRB-8:7310

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

Título: "AVALIAÇÃO DO POTENCIAL HIDROLÓGICO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE AVARÉ/ SP PARA SEGURANÇA HÍDRICA LOCAL"

AUTORA: MIRIAN PAULA MEDEIROS ANDRÉ PINHEIRO

ORIENTADOR: RODRIGO LILLA MANZIONE

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. RODRIGO LILLA MANZIONE

Engenharia de Biosistemas / Faculdade de Ciências e Engenharia - UNESP - Tupã/SP



Dr. MIKAEL TIMÓTEO RODRIGUES

Analista Ambiental Senior / Parque Tecnológico Itaipú



Prof.ª Dr.ª DANIELA FERNANDA DA SILVA FUZZO

Coordenadoria de Curso de Geografia / UNESP - Campus de Ourinhos



Prof. Dr. EDSON LUÍS PIROLI

Coordenadoria Executiva / Unidade de Ourinhos / Universidade Estadual Paulista



Prof. Dr. SÉRGIO CAMPOS

Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu

Botucatu, 20 de dezembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

À minha família pelo apoio, confiança e amor ao longo de todos esses anos de estudos, especialmente, minha mãe M^a Eugênia e minha avó M^a Miriã (*in memoriam*), por serem meus maiores exemplos de vida, me ensinando sempre o valor da persistência, da determinação, da dedicação e do amor.

À meu melhor amigo, companheiro, namorado e confidente, Paulo Daniel de Oliveira Jr. que tem sido minha base e meu ponto de equilíbrio nos dias mais difíceis. Obrigada por sua imensa paciência, seu amor e sua fé em mim!

Aos amigos que conquistei nessa caminhada, da república D'Javú: Evelynne Urzêdo, Carla Brito, Bárbara Poretz, Amanda Rodrigues, Andreia A. Ferreira Silva; do grupo GEPAG, em especial, Donizeti Nicolete, Aira Nava, Amanda Lima, Sara Penachio, Samuel Almeida e Ana Clara Barros. E aos amigos que já me acompanham desde da graduação, Marislane Carvalho, Daniella Santos, Dennis Crystian e Márcio Aurélio. Meu MUITO OBRIGADA por TUDO! Vocês são únicos e muito importantes para mim.

Aos meus queridos amigos Bruno e Mikael Rodrigues por esses anos de amizade e confiança, e por todo apoio.

Ao meu estimado e peculiar orientador Rodrigo Lilla Manzione, que foi muito valioso nesse caminhada, agradeço por sua paciência, persistência, preocupação e orientação.

Ao grupo da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela disponibilidade da bolsa de estudos.

Ao grupo docente do Programa de Pós Graduação em Irrigação e Drenagem.

Aos funcionários dos departamentos de Solos e Engenharia Rural.

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido para ampliar o conhecimento sobre a área da Estação Ecológica de Avaré (EEcAv), especialmente sobre a presença de água subterrânea, mostrando a importância das áreas de conservação do Estado de São Paulo. O entorno da EEcAv tem ocupação do solo por atividades agrícolas e florestais e tem no uso da água por irrigação uma contribuição para a produção dependente do regime de chuvas sazonais. A área de estudo, localizada no município de Avaré / SP, ocupa uma extensão territorial de aproximadamente 720 hectares. Para este trabalho, foram utilizadas informações dos satélites TRMM, TERRA/AQUA e LANDSAT 8; e os seguintes softwares para subsidiar a análise: QGIS, SAGA e MapWindow (extensão TauDEM). Com a ajuda dessas ferramentas, foi possível: construir os mapas hipsométrico e clinográfico; avaliar índices de vegetação (NDVI e NDWI); estimar e modelagem o fluxo de água subterrânea por meio da Direção do Fluxo, Fluxo Cumulativo e Índice de Umidade Topográfica (ITU); e estimar o volume explorável das águas subterrâneas da área. Com os resultados obtidos, verificou-se que os dados climatológicos do radar de precipitação do TRMM apresentaram melhor correlação com os dados de estação meteorológica de superfície do que os dados de evapotranspiração do produto MODIS 16 do TERRA/AQUA; os índices vegetativos indicam que durante a estação chuvosa há maior atividade fotossinteticamente ativa e, confirma uma maior concentração de umidade na superfície das folhas; a modelagem do fluxo e os dados do poço indicam que o volume infiltrado flui para o Rio Novo e o Ribeirão Água da Canela, também indicam a existência de caminhos hídricos preferenciais formados pela presença desses riachos, localizados ao sul e ao norte da área, respectivamente. Finalmente, com o volume explorável estimado de água subterrânea sob a área de estudo, foi possível calcular a possibilidade de irrigar mais de 3.000 hectares de milho, soja e citros com essas águas sem ameaças ecossistêmicas.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, Geotecnologia, Nível freático, Irrigação.

ABSTRACT

This work was developed to broaden the knowledge about the Ecological Area of Birds (EEcAv), especially on the presence of groundwater, showing the importance of the conservation areas of the State of São Paulo. The EEcAv environment is occupied by agricultural and forestry activities, and irrigation uses a contribution to production dependent on the seasonal glove regime. A study area, located in the municipality of Avaré / SP, has a territorial extension of approximately 720 hectares. For this work, the information of the satellites TRMM, TERRA/AQUA and LANDSAT 8 were used; The following software for analysis were: QGIS, SAGA and MapWindow (TauDEM extension). With the help of tools, it was possible to: construct hypsometric and clinical concepts; vegetation antecedent (NDVI and NDWI); estimation and modeling of water flow through the Direction of Flow, Cumulative Flow and Topographic Moisture Index (ITU); and estimation of the area's exploitable volume of groundwater. With the results obtained, it was verified that the climatological data of the TRMM precipitation radar were improved with the data of the surface meteorological station than the evapotranspiration data of the TERRA/AQUA MODIS 16 product; the vegetative indexes indicate that, during the season, most photosensitivities are active and confirm a higher concentration of leaf surface capacity; The flow modeling and well data indicate the infiltrated volume flowing to the Rio Novo and the Canela Water Stream, at the same time marking the existence of preferred water paths formed by the presence of the streams, at the same time, to the south and north of the area. Finally, with the explorable volume, the potential of water production in the region under a study area, it was possible to irrigate more than 3,000 hectares of soybean, soybeans and citrus with water without nutrients.

Key words: Remote sensing, Geotechnology, Water table, Irrigation.

LISTA DE FIGURAS E MAPAS

Figura 1. Unidades de Conservação do Estado de São Paulo sob Gestão da Fundação Florestal.	23
Figura 2. Áreas de afloramento das rochas de cada unidade geológica do Estado de São Paulo (CETESB, 2018).	26
Figura 3. Localização dos pontos monitorados por município do Estado de São Paulo (CETESB, 2004).	30
Figura 4. Aptidão das águas subterrâneas.	33
Figura 5. Localização da Estação Ecológica de Avaré (EEcAv).	45
Figura 6. Codificação utilizada para distinguir as oito direções de fluxo possíveis no método D8.	55
Figura 7. Fluxograma dos cálculos realizados para obter os valores da capacidade de hídrico da área.	57
Figura 8 Curva de regressão linear entre o CIIAGRO e o TRMM para a variável precipitação, no período de 2004 a 2013.	60
Figura 9. Funções Empíricas de Distribuição de Probabilidade (FEDP) calculadas a partir dos dados analisados de precipitação.	61
Figura 10. Curva de regressão linear entre o CIIAGRO e o MOD16 para a variável evapotranspiração, no período de 2004 a 2013.	63
Figura 11. Funções Empíricas de Distribuição de Probabilidade (FEDP) calculadas a partir dos dados analisados de evapotranspiração.	64
Figura 12. Composição RGB da área de estudo e seu entorno.	65
Figura 13. Mapa hipsométrico, elaborado a partir do SRTM.	66
Figura 14. Mapa clinográfico, elaborado a partir do SRTM.	67
Figura 15. Hidrografia da EEcAv e seu entorno.	68
Figura 16. NDVI no período chuvoso, 29/11/2017.	69
Figura 17. NDVI no período seco, 25/06/2014.	70
Figura 18. Diferença no comportamento espectral entre os períodos chuvoso e seco do NDVI, para a área da EEcAv.	71
Figura 19. NDWI no período chuvoso, 29/11/2017.	72
Figura 20. NDWI no período seco, 25/06/2014.	73
Figura 21. Diferença no comportamento espectral entre os períodos chuvoso e seco do NDWI, para a área da EEcAv.	74
Figura 22. Distribuição dos poços na EEcAv.	75
Figura 23. Direção do fluxo no dia 25/06/2014.	76
Figura 24. Direção do fluxo no dia 11/12/2017.	77
Figura 25. Níveis potenciométricos no dia 25/06/2014.	78

Figura 26. Níveis potenciométricos no dia 11/12/2017.....	78
Figura 27. Fluxo Acumulado da EECav e seu entorno.	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distribuição das unidades de conservação pelos biomas brasileiros	25
Tabela 2. Características das bandas do satélite LANDSAT 8: comprimento da onda e resolução espacial	37
Tabela 3. Fontes de dados (IBGE, 1973) do material topográfico.....	48
Tabela 4. Demanda hídrica para cada cultura.....	58
Tabela 5. Parâmetros estatísticos calculados para os dados da estação meteorológica (CIIAGRO) e do satélite TRMM (em mm) para a variável precipitação, no período de 2004 a 2013.....	59
Tabela 6. Parâmetros estatísticos calculados para os dados da estação meteorológica (CIIAGRO) e do sensor MODIS (MOD16) (em mm) para a variável evapotranspiração, no período de 2004 a 2013	62
Tabela 7. Classificação da declividade, de acordo com EMBRAPA (1979)	66
Tabela 8. Evapotranspiração diária, duração do ciclo, demanda hídrica para cada cultura e número de hectares cultivados com o volume explorável existente sob a EECav	81

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	PRESENÇA DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO.....	20
2.2	CARACTERIZAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO ECOLÓGICA (EE).....	24
2.3	OCORRÊNCIA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DE SÃO PAULO.....	25
2.4	MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	28
2.5	UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	31
2.6	GEOTECNOLOGIAS.....	34
2.6.1	Land Remote Sensing Satellite (LANDSAT).....	35
2.6.2	Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM).....	37
2.6.3	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS).....	37
2.6.4	Sistema De Informações Geográficas - QGIS.....	38
2.6.5	Terrain Analysis Using Elevation Model (TauDEM).....	39
2.6.6	System For Automated Geoscientific Analyses (SAGA).....	39
2.6.7	MapWindow.....	40
2.7	PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA.....	40
2.8	ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	42
2.8.1	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI).....	43
2.8.2	Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI).....	44
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	45
3.1	ÁREA DE ESTUDO.....	45
3.2	VEGETAÇÃO PRESENTE NA EEcAv.....	47
3.3	CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS E FÍSICAS.....	47
3.4	DADOS PRIMÁRIOS.....	48
3.5	DADOS CLIMATOLÓGICOS.....	49
3.6	PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO UTILIZADOS.....	49
3.7	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS CLIMATOLÓGICOS.....	50
3.8	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	51
3.8.1	Mapa Hipsométrico (MDT).....	51
3.8.2	Mapa Clinográfico (Declividade).....	52
3.8.3	Composição Colorida (RGB).....	52
3.8.4	Modelagem das Águas Subterrâneas.....	53
3.8.4.1	<i>Mapeamento do Fluxo das Águas Subterrâneas.....</i>	<i>53</i>

3.9	VOLUME EXPLORÁVEL	57
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.1	ANÁLISE DOS DADOS CLIMATOLÓGICOS	59
4.1.1	Avaliação dos dados obtidos em estações climatológicas e pelo satélite TRMM	59
4.1.2	Avaliação dos dados obtidos em estações climatológicas e pelo sensor MODIS (MOD16).....	62
4.2	DETALHAMENTO FÍSICO DA ÁREA.....	65
4.2.1	Relevo	66
4.2.2	Hidrografia.....	67
4.3	COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO.....	68
4.3.1	NDVI.....	69
4.3.2	NDWI.....	71
4.4	MODELAGEM DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA EEcAv	74
4.4.1	Mapas De Fluxo	74
4.4.1.1	<i>Direção de Fluxo</i>	75
4.4.1.2	<i>Fluxo Acumulado</i>	79
4.4.1.3	<i>Índice Topográfico de Umidade (ITU)</i>	80
4.5	VOLUME EXPLORÁVEL DO AQUÍFERO E CONTRIBUIÇÃO HÍDRICA LOCAL.....	81
5	CONCLUSÕES	84
	REFERÊNCIAS.....	87

1 INTRODUÇÃO

Por ser um país reconhecido, mundialmente, por sua ampla variedade de fauna e flora, o Brasil visou nas últimas décadas o desenvolvimento de ações que preservassem essa biodiversidade. Sendo em 1988, o primeiro momento que questões ambientais e a necessidade de preservação foram discutidas na Constituição. O Poder Público sob influência direta da Constituição Federal tem o dever de proteger e preservar o 'meio ambiente ecologicamente equilibrado'. Baseado nessa ideologia foi criado o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), no entanto, sua efetivação só aconteceu no ano 2000, pela Lei 9.985 (SNUC, 2017).

A sustentação/conservação dos processos ecológicos em áreas protegidas é imprescindível, visto que, a previsão para os próximos 40 anos é uma redução da biodiversidade de 15 a 37% das espécies vegetais (THOMAS et al., 2004; PEREIRA et al., 2010).

As áreas de conservação, no Estado de São Paulo, começaram a ser criadas no ano 2000, para proteger e preservar o equilíbrio ecológico de ambientes detentores de características naturais e culturais do estado.

Um exemplo disso, é a Estação Ecológica de Avaré (EEcAv) que foi criada em 2010, originalmente, com o nome de Horto Florestal Andrada e Silva, como uma unidade de conservação de proteção integral estadual, por possuir amostras dos biomas Cerrado (em sua maioria) e Mata Atlântica. Ambos altamente importantes por suas biodiversidades, pelo alto grau de endemismo e por estarem entre os mais ameaçados do planeta (MYERS et al., 2000; MITTERMEIER, 2005).

Segundo Kronka et al. (2005), a área ocupada por esses dois ecossistemas no município de Avaré é de apenas 7% do originalmente registrado, e estão distribuídas em frações florestais que são divididas por áreas que apresentam uso agropecuário.

Mesmo com a importância ímpar de áreas, como citado acima, o governo estadual, recentemente, sancionou uma lei (Lei 16.260/2016) que permite a iniciativa privada explorar serviços ou uso, total ou parcial dessas áreas. Coincidentemente, a

aprovação dessa lei ocorreu quando o país enfrenta a pior crise econômica dos últimos 87 anos.

A Lei 16.260 foi aprovada pela Assembleia Legislativa, em 31 de junho de 2016, e concede autorização ao Governo Estadual para promover permissões de aquisição ou uso de 25 Unidades de Conservação do Instituto Florestal, que são: viveiros, hortos, estações experimentais, estações ecológicas, parques estaduais e florestas.

Essa lei poderá provocar impactos socioambientais significativos nas áreas selecionadas, em relação aos efeitos diretos sobre os recursos naturais podemos citar o ecoturismo e a exploração comercial de produtos e subprodutos florestais, que coloca em risco os 8% da Mata Atlântica e o que restou do Cerrado protegidos pelo Estado. Além de afetar o equilíbrio da biodiversidade local e a qualidade de vida da população que reside nas proximidades ou dentro dessas áreas. Também será um grande retrocesso na gestão dessas áreas e no cumprimento dos seus planos de manejo.

Há uma ligação direta entre o tipo de vegetação, a conservação do solo e a interação entre águas subterrâneas e águas superficiais, um depende do outro. Quando há um desequilíbrio todo o ciclo é afetado. No caso de áreas verdes, por exemplo, estações ecológicas, um desbalanceamento poderia afetar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas alterando a água utilizada para irrigação nas propriedades circunvizinhas, podendo gerar modificações na qualidade do produto final. Do ponto de vista hidrológico, essas áreas possuem um papel importante no fornecimento de água, recarga de aquíferos e amortecimento do escoamento superficial. É um contrassenso a adoção desse tipo de ação (aprovação da Lei 16.260) pelo Estado de São Paulo frente a crise hídrica ocorrida principalmente entre 2013/2014 cujos efeitos são sentidos até hoje em algumas partes do estado. Assim, fica evidente a necessidade de uma caracterização rápida e eficiente desses recursos naturais protegidos até então por lei para que sua exploração seja feita de forma equilibrada, com parcimônia e dentro das premissas ambientais e necessidades da população.

Esse trabalho tem como objetivo geral usar geotecnologias para caracterizar, de forma detalhada, os recursos hídricos e a vegetação nativa e cultivada, da área

da Estação Ecológica de Avaré (EEcAv) e seu entorno. Essa área possui ocupação da terra por atividades agropecuárias e florestais e tem no uso da água pela irrigação um aporte a produção dependente do regime sazonal de chuvas. Frente a isso, apresenta-se a seguinte questão científica:

- Qual seria a contribuição hidrológica da EEcAv para a manutenção da vegetação nativa e fornecimento de água para as áreas circundantes?

Como objetivos específicos, estabeleceu-se:

- Analisar os níveis freáticos da área de estudo;
- Comparar os dados fornecidos por satélites e por estação meteorológica da EEcAv referentes a precipitação e evapotranspiração;
- Verificar o comportamento sazonal da vegetação a partir de imagens de satélite;
- Mapear o fluxo das águas subterrâneas na EEcAv; e
- Avaliar sobre a importância da EEcAv na manutenção do fluxo de base dos corpos hídricos superficiais e no fornecimento de água regional.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PRESENÇA DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO ESTADO DE SÃO PAULO

Segundo o SAP (2018), as Unidades de Conservação (UC) agregam à proteção ambiental das áreas escolhidas a exploração de seus recursos com objetivos científicos, educacionais, recreativos e turísticos. Constituindo, dessa forma, uma integralização entre homem e meio ambiente.

A criação do SNUC ocorreu, principalmente, pela preocupação em conservar florestas presentes em áreas públicas. A lei (9.985/2000) responsável, por isso entende que, Unidades de Conservação são basicamente “espaços territoriais, juntamente, com todos os seus recursos naturais, protegidos e preservados pelo Poder Público”.

O SNUC têm como principais funções: preservar a biodiversidade, incentivar o desenvolvimento sustentável tendo como base os recursos naturais, recuperar ou restaurar ecossistemas degradados, proteger comunidades tradicionais (seus ensinamentos e cultura) (SNUC, 2017).

Foram definidas pelo SNUC, 12 categorias de UC organizadas em duas classes (UCB, 2017). As classes são:

- *Proteção Integral*: tem como função principal conservar os ecossistemas que não sofrem interferência provocadas pelo homem, assim raramente é permitido o consumo, coleta, dano ou destruição dos recursos naturais dessas áreas. É dividida em cinco classificações: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre.
- *Uso Sustentável*: tem como função principal unificar a preservação natural do meio com o uso consciente dos recursos presentes na área protegida. Diferentemente, da Proteção Integral, permite a presença humana nessas áreas. É dividida em sete classificações: Área de Proteção Ambiental, Área Relevante de Interesse Ecológico, Reserva de Desenvolvimento Sustentável, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna e Flora e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Como citado acima, as 12 categorias são:

PROTEÇÃO INTEGRAL

- *Estação Ecológica*: cujo objetivo é preservar a natureza e realizar pesquisas científicas.
- *Reserva Biológica*: cujo foco é a preservação integral do bioma e demais características naturais existentes em seus limites, sem influência humana direta ou alterações ambientais, excluindo ações de recuperação de seus ecossistemas alterados e as atividades de manejo necessárias para restaurar e preservar o equilíbrio natural, a biodiversidade e os processos ecológicos naturais.
- *Parque Nacional*: cujo objetivo fundamental é cuidar de ecossistemas naturais de ampla importância ecológica, possibilitando a prática de pesquisas científicas e o desenvolvimento de atividades educacionais e de entretenimento em contato com a natureza e de turismo ecológico.
- *Monumento Natural*: cujo foco básico é conservar sítios naturais importantes, únicos ou de beleza cênica singular.
- *Refúgio de Vida Silvestre*: cujo objetivo é proteger ambientes naturais onde se garantem condições para a vivência ou reprodução de espécies ou populações da flora local e da fauna que habitem o local ou migratória.

USO SUSTENTÁVEL

- *Área de Proteção Ambiental (APA)*: é uma área em geral com grande extensão territorial, com uma pequena ocupação humana, dotada de características abióticas, bióticas, estéticas ou culturais importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como principais objetivos proteger a biodiversidade, controlar o processo de ocupação e garantir a sustentabilidade do uso dos recursos naturais.
- *Área de Relevante Interesse Ecológico*: é geralmente uma pequena área, com uma ocupação humana mínima ou inexistente, com particularidades

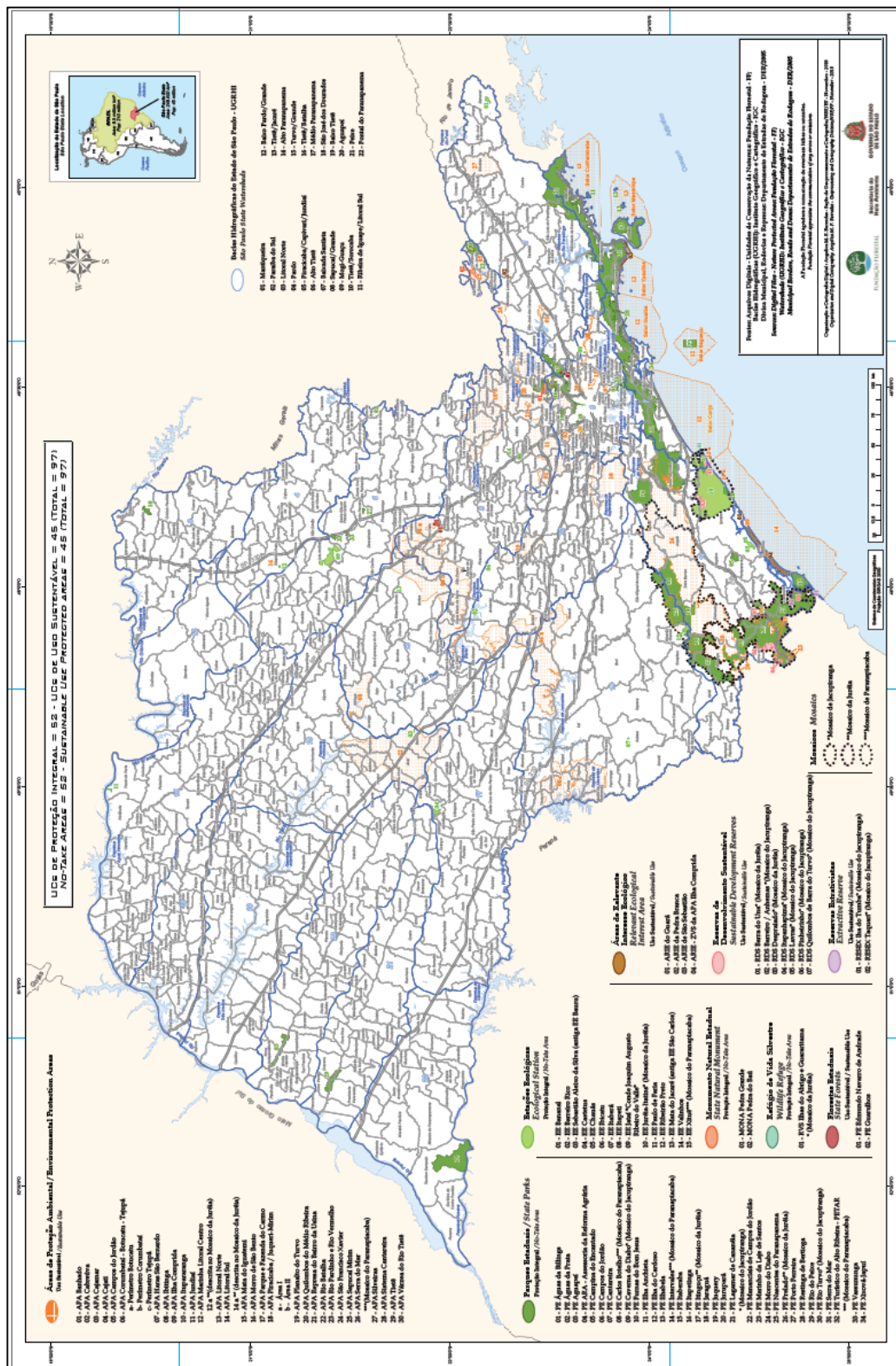
naturais extraordinárias ou que acolha exemplares raros da biota regional, e tem como foco conservar os importantes ecossistemas naturais, sejam regionais ou locais, e regular o uso cabível dessas áreas, de modo que respeitem os objetivos de conservação da natureza.

- *Florestal Nacional*: é um local com presença de espécies florestais predominantemente nativas e tem como objetivo fundamental um uso variado realizado de forma sustentável dos recursos florestais e a pesquisa científica, com foco em técnicas para exploração sustentável de florestas nativas.
- *Reserva Extrativista*: é uma área usada para atividades extrativistas tradicionais, cuja subsistência da população nativa baseia-se no extrativismo e, complementar a isto, na agricultura de subsistência e na criação de rebanhos de pequeno porte, e tem como objetivos principais cuidar dos meios de vida e da cultura dessas populações, e garantir o uso sustentável dos recursos naturais da unidade.
- *Reserva de Fauna*: é uma área natural com a presença de populações animais de espécies nativas, sejam elas terrestres ou aquáticas, residentes ou migratórias, ideais para estudos técnico-científicos referentes ao manejo econômico sustentável de recursos faunísticos.
- *Reserva de Desenvolvimento Sustentável*: é uma área natural que acolhe populações tradicionais, cuja vivência tem como base os sistemas sustentáveis de exploração dos recursos naturais, melhorados ao longo de gerações e adaptados às condições ecológicas locais e que cumprem uma função ímpar na proteção da natureza e na preservação da diversidade biológica.
- *Reserva Particular do Patrimônio Natural*: é um local privado, criado por interesse do proprietário, gravado com perpetuidade, com a função de preservar a diversidade biológica.

De acordo com Fundação Florestal (2019), o Estado de São Paulo possui 15 Estações Ecológicas, 34 Parques Estaduais, 1 Refúgio de Vida Silvestre, 2 Florestas Estaduais, 7 Reservas de Desenvolvimento Sustentável, 4 Áreas de Relevante Interesse Ecológico, 2 Monumentos Naturais Estaduais, 2 Reservas Extrativistas (Figura 1).

Figura 1. Unidades de Conservação do Estado de São Paulo sob Gestão da Fundação Florestal.

Fonte: Fundação Florestal



2.2 CARACTERIZAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO ECOLÓGICA (EE)

As estações ecológicas são áreas representativas do território nacional, que incluem ambientes terrestres e marinhos. Assim por possuir características naturais significativas da biodiversidade tem como principal objetivo preservar o ecossistema local, permitindo assim a manutenção da diversidade existente; outra função seria a realização de pesquisas científicas direcionadas a restauração e recuperação do meio (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2017). No mínimo, 90% da área escolhida é destinada a preservação integral do bioma.

A visitação pública é permitida somente em algumas áreas e, somente para atividades educacionais. Segundo o SNUC, na Estação Ecológica são permitidas apenas alterações dos ecossistemas em situações específicas, como:

- Medidas que objetivem a recuperação de ecossistemas alterados;
- Trabalhar com espécies com a função de preservar a diversidade biológica;
- Recolhimento de componentes dos ecossistemas com objetivos científicos;
- Atividades de pesquisas científicas cuja interferência sobre o ambiente seja maior do que aquele provocado pela simples observação ou pela coleta controlada de componentes dos ecossistemas, em uma área que corresponde a no máximo 3% da extensão total da unidade e até o limite de 1500 hectares.

Em 2011, o país apresentava um quadro com 102 EEs, sendo 95 continentais, distribuídas em: 31 federais, 63 estaduais e 1 municipal, que totaliza uma área de 1.296.554 km²; e 7 marinhas, de acordo com o cadastro nacional das Unidades de Conservação realizado pelo Ministério do Meio Ambiente. As EEs continentais estão divididas de acordo com os biomas brasileiros (Tabela 1).

Tabela 1. Distribuição das unidades de conservação pelos biomas brasileiros

Bioma	Proteção Integral		Uso Sustentável	
	Área total (Km ²)	Área total (%)	Área total (Km ²)	Área total (%)
Amazônia	402.499	9,59	596.550	14,21
Caatinga	9.140	1,08	43.719	5,18
Cerrado	55.033	2,7	79.569	3,91
Mata Atlântica	22.289	2,01	53.271	4,8
Pampa	1.435	0,81	3.203	1,81
Pantanal	4.427	2,94	0	0,00

Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2011).

A bacia hidrográfica do Médio Paranapanema, onde é encontrada a EEcAv, retém uma cobertura vegetal natural de 107.326 ha, sendo que 31.457 ha pertencem ao bioma Cerrado (KRONKA et al., 2005), distribuídos em 839 fragmentos. Um dos maiores desses fragmentos ocupa quase totalmente a área de 720,4 ha pertencentes a EEcAv, que compõe um dos mais importantes remanescentes no cenário regional.

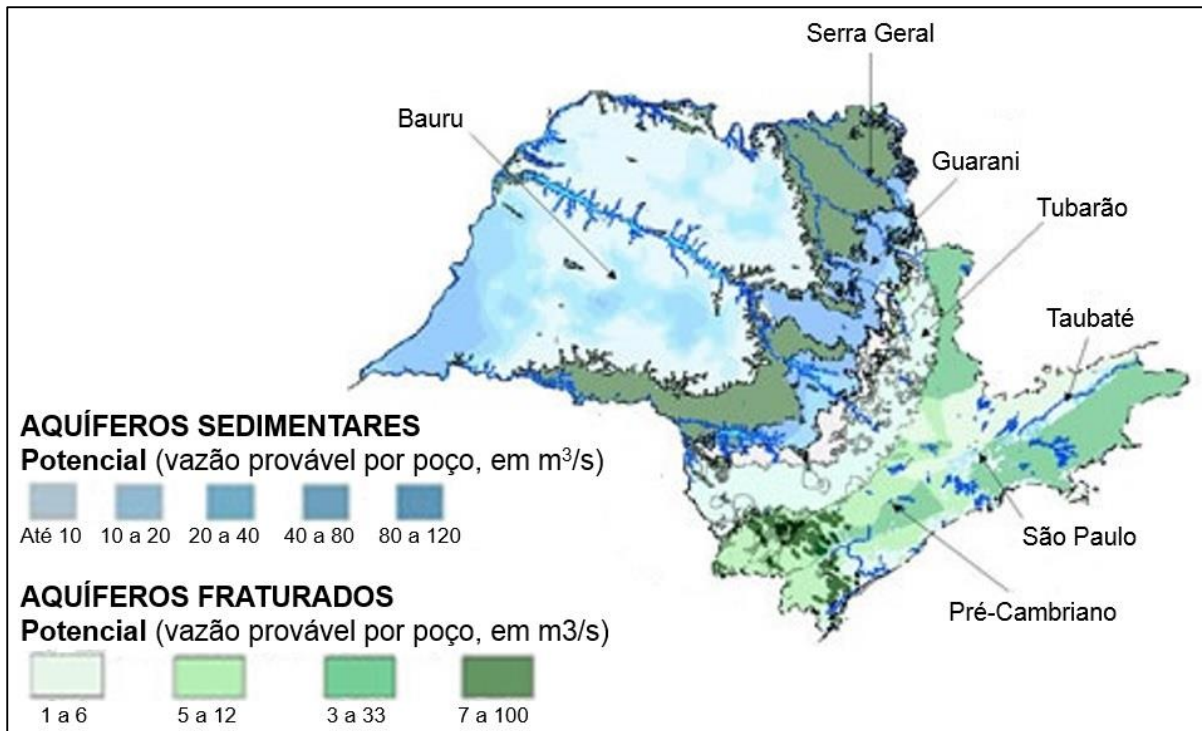
2.3 OCORRÊNCIA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NO ESTADO DE SÃO PAULO

O Estado de São Paulo é privilegiado em relação as águas superficiais e subterrâneas, isso se deve a sua localização intertropical, a geologia e ao clima.

O Estado de São Paulo é muito privilegiado, no que se refere a recursos hídricos e, segundo o FIESP (2005) 70% do território paulista é ocupado pelas Formações Aquíferas da Bacia do Paraná, por exemplo: Bauru, Guarani (Botucatu), Itararé e Serra Geral, possuem duas outras bacias sedimentares importantes, a de São Paulo e Taubaté (Figura 2) e o domínio das rochas do Embasamento Cristalino. Uma avaliação da CETESB (2004), citado por FIESP (2005), mostra que 70% dos municípios paulistas são abastecidos totalmente por águas subterrâneas e o

restante sofre uma abastecimento parcial, 90% desse volume subterrâneo utilizado apresenta uma excelente qualidade e apenas 10% precisam de alguns tratamentos.

Figura 2. Áreas de afloramento das rochas de cada unidade geológica do Estado de São Paulo (CETESB, 2018).



O afloramento do Aquífero Guarani ocorre em uma faixa estreita e irregular sobre o Aquicludo Passa Dois, e apresenta como características geológicas a oeste do Estado, um confinamento por basaltos da Formação Serra Geral, e ao extremo oeste, uma variação de profundidade que pode ser de algumas centenas de metros (próximo do afloramento) até 1900 m.

Já o Aquífero Serra Geral ocorre na região das Cuestas Basálticas, região intermediária do Estado, superficialmente, tendo as margens do Rio Grande, ao norte, e Paranapanema, ao sul. Em sua maioria, está recoberto por sedimentos que compõe o Aquífero Bauru, fonte de abastecimento fundamental para a parte oeste do Estado.

O Estado de São Paulo é um dos poucos Estados do Brasil que possui uma legislação que regulamenta o uso dos recursos hídricos subterrâneos de forma a assegurar a sua sustentabilidade. No Estado, a água subterrânea tem papel primordial, principalmente no abastecimento público de diversas cidades,

principalmente as que se localizam a oeste do Estado. Estas ficam sobre o Aquífero Bauru e na parte que aflora o Aquífero Guarani, são caracterizados por serem aquíferos livres, de ótima qualidade natural e produtividade, sendo por um lado economicamente viável a captação de água, por outro lado são vulneráveis à poluição.

A média pluviométrica anual no território estadual é 1380 mm/ano; então há uma distribuição desse total, há uma estimativa que em média 30% constituirá a vazão fluvial, e os outros 70% é dividido entre escoamento superficial e infiltração, sendo que estima-se que 40% abastecerá as águas subterrâneas.

Em 2005, a vazão total explorável das águas subterrâneas no Estado de São Paulo era de 330 m³/s e a demanda de 60 m³/s, apesar do volume disponível ser menor que o das águas superficiais, sua importância é singular, visto que as águas subterrâneas:

- Nutrem o fluxo base da água de rios, permitindo perenidade ao corpo hídrico, mesmo durante as estações secas; e
- Compõem o abastecimento público.

Cerca de 462 municípios paulistas recebem abastecimento hídrico, total ou parcial, das águas subterrâneas.

A Constituição do Estado de São Paulo, através do Art.206, instituiu os corpos hídricos subterrâneos como reservas estratégicas para o desenvolvimento social e econômico, assim como um valioso recurso para o atendimento das populações, estabelecendo um programa permanente de conservação e proteção contra poluição e superexploração, com diretrizes estabelecidas por lei. Através da Lei nº 6.134/88, o estado de São Paulo foi o primeiro da Federação a implementar leis relacionadas aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, que levanta a importância de preservar os depósitos naturais desse recurso no Estado. Dentre outros dispositivos, estabelece a necessidade de elaboração de programas permanentes de conservação, a obrigatoriedade de cadastramento de todo poço perfurado.

2.4 MONITORAMENTO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Pode-se considerar a água subterrânea como uma das maiores riquezas naturais do planeta e, deste modo o seu monitoramento é fundamental para a avaliação das condições que este meio natural se encontra, e posteriormente ter a capacidade de colocar em ação medidas preventivas e/ou proativas para garantir a qualidade e quantidade, buscando desenvolver o uso sustentável junto a uma ação integrada de gerenciamento.

Um programa de monitoramento que seja eficiente deve envolver o controle da qualidade e quantidade, considerando as inter-relações existentes com as águas superficiais, condições climáticas e usos da terra.

O monitoramento qualitativo e quantitativo da água é o básico para o gerenciamento desse recurso, auxiliando na tomada de decisões e ponderando a eficiência de tais decisões na proteção, manutenção e melhoria dos recursos hídricos (UNEP/WHO, 1996; SWRCB, 2003).

As modificações na quantidade e qualidade das águas subterrâneas acontecem de forma gradativa, sendo identificadas somente através de um monitoramento elaborado e que seja realizado a longo prazo (TUINHOF et al., 2004). O monitoramento permite obter informações para prever os impactos gerados pela extração da água e pela quantidade de poluentes no corpo hídrico.

No entanto, apenas o monitoramento dos corpos hídricos subterrâneos não é o suficiente para obter os dados necessários para realizar um gerenciamento eficiente (UIL et al., 1999). Informações, como: litologia e composição bioquímica das camadas mais profundas do solo, dados sobre a integração com as águas superficiais, dados meteorológicos e informações sobre potenciais fontes poluentes de recursos hidrológicos.

O monitoramento dos aquíferos é instrumento da Política Nacional dos Recursos Hídricos definido pela Lei nº 9.433 de 1997, para apoiar os planos de recursos hídricos, a outorga para os diferentes usos da água e o seu enquadramento em classes. O monitoramento das águas subterrâneas deve incluir a coleta, o armazenamento, a análise e interpretação dos dados. De acordo com Mestrinho (2008), geralmente se inclui:

- Observações sistemáticas dos processos dinâmicos mais significativos do sistema aquífero como vazões bombeadas, níveis e qualidade da água;

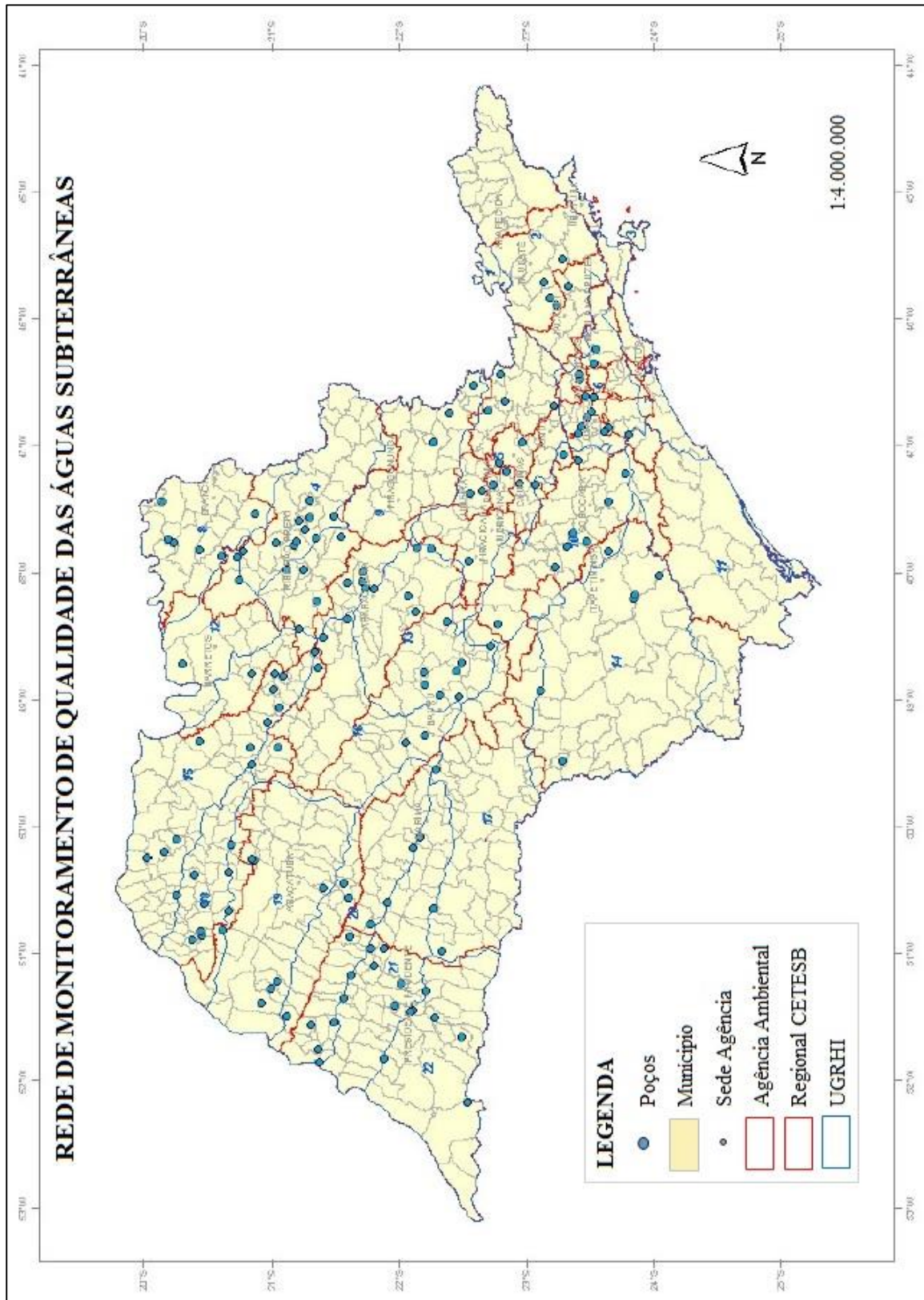
- Análise e interpretação dos dados obtidos, para avaliar as mudanças verificadas no aquífero em relação a um estágio anterior de conhecimento, permitindo diagnosticar em um dado momento a extensão dos efeitos da exploração e da ocorrência de eventuais danos; e
- Formalização de subsídios aos gestores, com base nos diagnósticos acima, visando a tomada de decisões.

A coleta de informações é a primeira etapa a ser desenvolvida, pois é a partir dela que será definida a malha, a locação dos pontos, a frequência das coletas, as metodologias que serão usadas e o processamento dos dados. As dificuldades da implementação de uma rede de monitoramento estão associadas a heterogeneidade hidráulica do meio subterrâneo, a adequada posição dos poços de observação, os modos como serão coletados os dados e os custos.

Segundo Vasconcelos (2014), uma parte do desenvolvimento hidrogeológico atual é representado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), com atribuições de Serviço Geológico do Brasil (SGB), devido a prática de algumas ações que envolvem estudos de águas subterrâneas. Exemplos disso seria: alimentação e operação do Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS), o cadastramento dos pontos d'água em vários estados, e o mais recente, desde 2009, a inauguração da Rede de Monitoramento das Águas Subterrâneas em todo o território nacional. Os dados gerados pela CPRM/SGB permitem um melhor entendimento da situação das perfurações e condições das explorações das águas subterrâneas no país. No entanto, para aumentar a eficiência da gestão dos mananciais de corpos d'água subterrâneas é imprescindível que hajam sistemas de informações que reúnam características peculiares de cada região estudada.

A rede de monitoramento da água subterrânea no Estado de São Paulo foi criada em 1990. Em 2003, a rede sofreu uma ampliação de 15 poços, e em 2007, contava com 162 poços (Figura 3).

Figura 3. Localização dos pontos monitorados por município do Estado de São Paulo (CETESB, 2004).



No Estado de São Paulo, a CETESB (1977) é a responsável pela rede de monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, e tem como objetivos:

- Identificação de locais com alterações de qualidade;
- Estabelecer, em cada aquífero, os VRQ (Valores de Referência de Qualidade) para as substância de interesse;
- Medir, a cada década, as disposições das concentrações de substâncias monitoradas;
- Auxiliar a classificação das águas subterrâneas, para cobrança e enquadramento, a fim de realizar sua proteção;
- Realizar a caracterização da qualidade original de águas subterrâneas brutas;
- Auxiliar, junto a suas Agências, atos de controle e prevenção da poluição dos solos e dos corpos hídricos;
- Auxiliar, juntamente com os Comitês das Bacias Hidrográficas, a formulação de ações de gestão da qualidade da água subterrânea;
- E, por fim, ponderar a eficácia destas ações a longo prazo.

2.5 UTILIZAÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas cobrem, aproximadamente, 70% da superfície da Terra, dessa percentagem 97,5% é água salgada, que é imprópria para o consumo animal ou vegetal, e 2,5% é água doce. Considerando esse 2,5% como 100%: 68,9% corresponde à geleiras ou ambientes congelados (exemplo, tundra) no extremo norte do planeta, 29,7% corresponde às águas subterrâneas, 0,5% corresponde às águas superficiais e 0,9% corresponde a outros reservatórios (vapor d'água, nuvens, a água presente nos seres vivos, etc.) (BRASIL ESCOLA, 2018).

Segundo a ANA (2012), 12% das reservas de águas doces do planeta estão no Brasil, significando uma disponibilidade hídrica de 40.732 m³/hab/ano (*apud* CETESB, 2004). Em 2004, segundo a SABESP, cerca de 80% das águas nacionais estão presentes na Bacia Amazônica, e apenas 1,6% está no Estado de São Paulo (*apud* CETESB, 2004).

No entanto, mesmo com essa disponibilidade hídrica, o Estado de São Paulo sofre com a má distribuição dessas águas, sendo a região leste do estado a maior retentora, graças a presença do Aquífero Guarani, e a menor consumidora, quando

comparada a região oeste, onde está localizado o centro metropolitano do estado e conseqüentemente, a região com maior consumo de água do estado.

Em 1997, a CETESB realizou um levantamento sobre o abastecimento público no estado, e cerca de 72% dos 645 municípios paulistas eram abastecidos, total ou parcialmente, por águas subterrâneas. Diante disso, é evidente a importância da água subterrânea no cenário estadual, que é usada não somente para o abastecimento doméstico, mas também na indústria e, principalmente, na agricultura.

Uma opção viável à sustentabilidade socioeconômica da agricultura é o uso de águas subterrâneas na irrigação. No entanto, o uso de águas com qualidade imprópria pode acarretar em prejuízos significativos para a produção agrícola e para o meio, como abandono e diminuição de terras cultiváveis (AMORIM, 2013).

Toda água que infiltra no solo, seja ela proveniente da irrigação ou de chuvas, leva parte da composição química desse solo até o lençol freático, solos utilizados para o cultivo intensivo ou solos rasos possuem uma maior quantidade de sais minerais estes quando “lavados”, conseqüentemente, depositam parte desses sais no lençol freático local. Quando esse lençol sofre uma elevação, carrega os sais ali depositados, devido a ação da evapotranspiração, até a superfície, por capilaridade, ocasionando um aumento, às vezes, significativo da salinidade e sodicidade desse solo (TEISSEDRE, 1997).

Biologicamente, a água subterrânea não é corrompida por resíduos urbanos e industriais, o que evita que uma contaminação do irrigante que entrar em contato direto com essa água ou com os produtos cultivados com a mesma.

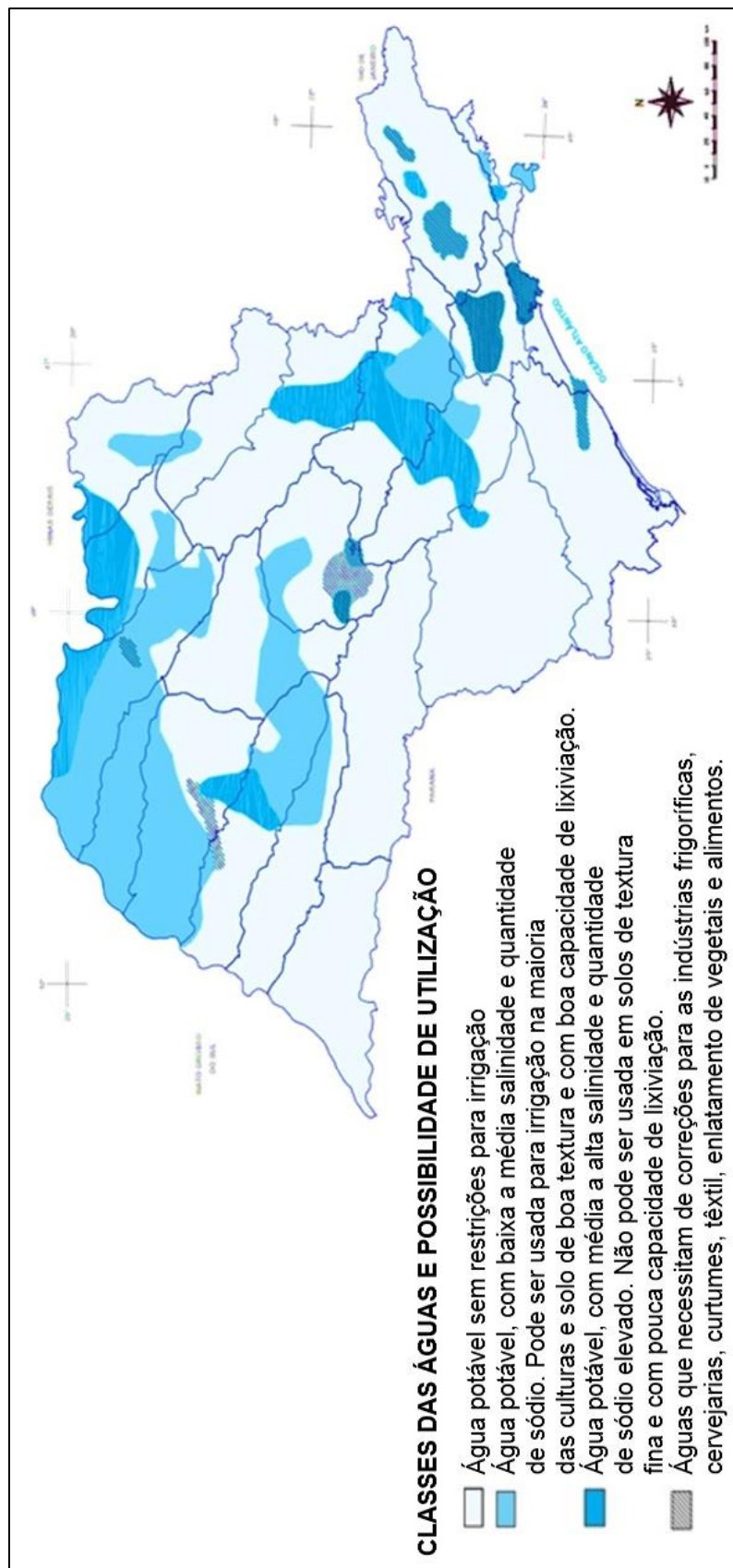
Quando de boa qualidade, quimicamente, reduz problemas com o entupimentos dos equipamentos de irrigação, que não possuirão presença de sais e algas microscópicas.

Quanto a disponibilidade, por não possuir sazonalidade está acessível durante o ano inteiro.

A importância da água subterrânea está diretamente relacionada a sua qualidade, já que esse é o fator mais determinante para seu uso, e a maior consequência disso é um aumento desordenado de perfurações e explorações de poços. A classificação dessas águas ao uso humano e animal, assim como o uso para irrigação e indústrias (Figura 4).

Figura 4. Aptidão das águas subterrâneas.

Fonte: IPT, 2018. Apresentado por SIGRH (2018). Extraído de CAMPOS (1993).



Na região do Médio Paranapanema (UGRHI-17), o solo é usado predominantemente para pastagens e culturas de ciclo curto, como milho e soja, culturas anuais, como a cana-de-açúcar e culturas perenes, como a laranja. No entanto, apesar dessa importância tem havido contaminações desses corpos hídricos com resíduos de produtos agrícolas, como herbicidas, inseticidas, e adubos, aplicados excessivamente. Tais resíduos contaminam os lençóis freáticos, prejudicando a qualidade da água.

Nas proximidades da área de estudo, há a presença de cana-de-açúcar e laranja, culturas que possuem um alto consumo hídrico, que são supridos pelas nascentes, comumente encontradas na região.

2.6 GEOTECNOLOGIAS

O Brasil é um país com complexos e diversos biomas, assim como uma extensão territorial significativa, compondo assim um cenário desafiante para a obtenção de informações e o uso do espaço geográfico nacional. Nesse contexto, as geotecnologias são um dos instrumentos que auxiliam na gestão e monitoramento territorial (EMBRAPA, 2013).

A utilização de dados geoespaciais pode favorecer, praticamente, todo planejamento e gerenciamento de atividades agrícolas, em âmbito não somente nacional, como regional e local, exemplos funcionais disso, são os usos de imagens de satélite e mapas digitais. São várias as metodologias que possibilitam a detecção, identificação, qualificação, quantificação e a cartografar áreas agrícolas, assim como sua dinâmica temporal e a utilização de seus recursos naturais de forma rápida, eficaz e precisa.

A junção de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica, é conhecida com geotecnologia; a mesma pode ser dividida em 3 partes: *hardware*, *software* e *peopleware* que, unidas são excelentes instrumentos que têm como objetivo final auxiliar na tomada de decisão. Exemplos bem conhecidos de geotecnologias são: Sistemas de Informação Geográfica (ou Geographic Information System - GIS), Sistema de Posicionamento Global (ou Global Positioning System - GPS), cartografia digital, sensoriamento remoto, aerofotogrametria e a topografia georeferenciada (ROSA, 2005).

Enquanto, o geoprocessamento possui um conceito mais amplo e representa qualquer tipo de processamento de dados georeferenciados, um SIG processa dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos) enfatizando análises espaciais e modelagem de superfícies (BURROUGH, 1987). Para Rosa (2005), SIG é um conjunto de ferramentas computacionais que mescla equipamentos e programas que através de técnicas, que unifica indivíduos e instituições, sendo possível dessa forma, coletar, armazenar, processar, analisar e ofertar informação georeferenciada gerada por meio de aplicações disponíveis, que tem como objetivo facilitar, assegurar e agilizar ações ligadas ao monitoramento, planejamento e tomadas de decisão referentes ao espaço geográfico.

O SIG e o Sensoriamento Remoto são os instrumentos técnicos básicos para serem usados para a realização de um planejamento, seja, ambiental, geográfico ou agrícola, pois permitem uma interpretação e representação com maior precisão das características do espaço estudado (AQUINO; VALLADARES, 2013).

De acordo com Rosa (2005), são inúmeras as utilizações das geotecnologias para o planejamento agrícola. Exemplos que podem ser citados são: imagens de satélites e *softwares* específicos que possibilitam o monitoramento e previsão de safras.

O conhecimento da área a ser trabalhada permite um planejamento mais adequado para o uso do solo, a gestão de bacias hidrográficas e o controle de pragas e doenças nas plantas.

As geotecnologias também podem ser usadas na Agricultura de Precisão, pelo uso de sistemas SIG e equipamentos de GPS com o objetivo de processar e analisar informações obtidas em campo. Outros exemplos seriam, realização de operações agrícolas que vão desde o plantio até a colheita usando maquinário automatizado, controlado por satélite; uso de fotogrametria para tomada de decisões, como realizar da colheita ou aplicações de defensivos; uso de topografia e cartografia para determinar os locais aptos e inaptos para o plantio.

2.6.1 Land Remote Sensing Satellite (LANDSAT)

A série LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*), inicialmente chamada de ERTS (*Earth Resources Technology Satellite*), começou na década de 60, e o

lançamento do primeiro satélite ocorreu em 1972, nos 41 anos seguintes foram lançados mais sete satélites (EMBRAPA, 2013).

Os LANDSAT 1, 2 e 3 tinham apenas as câmeras RBV (*Return Beam Vidion*) e MSS (*Multispectral Scanner System*), como instrumentos sensores. Já o quarto e o quinto satélites da série além da câmera MSS, receberam o sensor TM (*Thematic Mapper*) confeccionado para fornecer um maior suporte às pesquisas sobre o mapeamento temático da superfície do planeta. Diferente de seus antecessores, o L6 foi projetado com o sensor ETM (*Enhanced Thematic Mapper*) que recebeu, como modificação, a inclusão da banda pancromática, com uma resolução espacial de 15 metros, no entanto, não entrou em operação, pois o mesmo não atingiu a órbita terrestre. Em 1999, foi a vez do lançamento do LANDSAT 7, construído com uma versão melhorada do ETM, o ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), este permitiu uma significativa evolução nos produtos gerados, pois melhorou a precisão do sistema, manteve a excelente resolução espectral, expandiu a resolução espectral da faixa do infravermelho termal (banda 6) para 60 metros e permitiu o início da geração de composições coloridas com resolução espacial de 15 metros (EMBRAPA, 2013).

O L8 ou LDCM (*Landsat Data Continuity Mission*), por sua vez, foi uma evolução dos satélites anteriores, pois em sua composição recebeu dois sensores inovadores, o OLI (*Operational Land Imager*) e o TIRS (*Thermal Infrared Sensor*). O sensor OLI é a versão melhorada do TM e do ETM+, pois recebeu melhorias nas bandas 1 e 7, além do incremento da banda 9, o que permitiu uma ampliação dos estudos de áreas costeiras e detecção de nuvens específicas. Já o sensor TIRS permitiu a inclusão de faixas termais, que fornecem dados mais precisos sobre a temperatura da superfície, com uma resolução de 100 metros (DOUSSEAU, 2016).

As bandas espectrais do LANDSAT 8 utilizadas nesse estudo estão expostas na Tabela 2.

Tabela 2. Características das bandas do satélite LANDSAT 8: comprimento da onda e resolução espacial

Bandas Espectrais	Comprimento da Onda (μm)	Resolução Espacial (m)
Banda 3 – Visível verde	(0,53 – 0,59)	30
Banda 4 – Visível vermelho	(0,63 – 0,67)	30
Banda 5 – Infravermelho próximo	(0,85 – 0,88)	30
Banda 6 – Infravermelho médio/SWIR1	(1,57 – 1,65)	30

Fonte: <https://landsat.usgs.gov/what-are-band-designations-landsat-satellites>

2.6.2 Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM)

O desenvolvimento do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) foi uma parceria entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) com o objetivo de monitorar e ampliar o conhecimento sobre a distribuição e o volume pluviométrico nas regiões tropicais (COLLISCHONN et al. 2017).

Segundo Kummerow et al. (1998); Leivas et al. (2009); Huffman et al. (2007); TRMM (2018); Jensen (2009), o TRMM é composto pelos cinco instrumentos: um Radar de Precipitação (PR), um imageador de Micro-ondas (TMI), um Scanner nas faixas do Infravermelho e do Visível (VIRS), um Sensor de Energia Radiante da Superfície e Nuvens (CERES) e um Sensor para Imageamento de Relâmpagos (LIS). E está numa órbita oblíqua relativamente baixa (aproximadamente 403 km), o que possibilita uma alta resolução temporal e espacial.

As informações sobre precipitação são estimadas numa resolução temporal de 3 horas, atendendo as áreas que ficam entre as Latitudes de 50°S e 50°N (LOUZADA, 2016).

2.6.3 Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

O projeto EOS (Earth Observing System), financiado pela NASA, tem como principais objetivos modelar e monitorar, detalhadamente, cada região da superfície terrestre, atmosfera e oceanos do planeta Terra. Em virtude disso, estão sendo realizados o lançamento de diversos satélites, o primeiro deles foi o TERRA, em dezembro de 1999, posteriormente, foi o AQUA, em maio de 2002. Ambos carregam

o sensor MODIS, como principal instrumento de coleta e armazenamento de dados de sensoriamento remoto, possuindo moderada resolução espacial, e alta resolução temporal e espectral. E ainda com uma cobertura global a cada 1 a 2 dias (Justice et al., 2002).

Na prática, o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é um espectroradiômetro imageador com resolução espacial variando de 250 a 1000m, contendo um scanner óptico e um conjunto de detectores individuais que possibilitam a obtenção de imagens da cobertura terrestre em 36 bandas espectrais variando entre o visível e o infravermelho termal (0,4 – 14,3mm). A amplitude da variação das bandas permitem analisar a dinâmica e as propriedades da vegetação na superfície do planeta, a temperatura dos oceanos e ainda as propriedades das nuvens (SALOMONSON; TOLL, 1990).

Segundo Arai (2014), os 36 produtos gerados são divididos em 5 classes: Calibração, Atmosfera, Terra, Criosfera e Oceano.

O MOD 16 é um dos produtos desenvolvidos pelo sensor MODIS, cuja principal função é para realizar cálculos de Evapotranspiração (ET) utilizando uma integração de dados meteorológicos de reanálise e de dados de sensoriamento remoto (MU et al, 2007, MU; ZHAO; RUNNING, 2011). O cálculo do algoritmo de ET utiliza três variáveis: a transpiração do dossel (λE_t) e as evaporações da água capturada pelo dossel (λE_{wc}) e do solo (λE_s), resultando na equação $\lambda E = \lambda E_t + \lambda E_{wc} + \lambda E_s$. O produto gerado pelo algoritmo gera uma grade regular de 1 x 1 km², em intervalos temporais de 8 dias, numa escala global (MOREIRA et al, 2018).

2.6.4 Sistema De Informações Geográficas - QGIS

QGIS, ou como era conhecido até setembro de 2013 - Quantum GIS, é um programa de SIG (Sistema de Informação Geográfica) com interface gráfica simples, escrito em C++ e Python, com uso livre e licenciado pela GPL (*GNU General Public License*). É um projeto oficial da fundação OSGeo (*Open Source Geospatial Foundation*) (MANGHI; CAVALLINI; NEVES, 2011).

A primeira versão do programa foi lançada em 2011, é funcional em diversos sistemas: Linux, Unix, Mac OSX, Android e Windows. É uma multi-plataforma que suporta formatos vetoriais, raster e de bases de dados (QGIS Brasil, 2018).

Como exemplos de funcionalidade do QGIS, pode-se citar: ferramentas de digitalização e geoprocessamento, suporte para camadas vetoriais e raster, conexão com a linguagem de programação Python, composição para layout de impressão, integração com o SIG GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*), suporte OGC (WMS, WFS, WFS-T) e estrutura que possibilita o uso de extensões através de plugins (CAVALCANTE, 2015).

Até este momento, a versão mais atual do programa é o QGIS 3.2.1 'Bonn', lançada em julho de 2018 (QGIS Brasil, 2018).

2.6.5 Terrain Analysis Using Elevation Model (TauDEM)

O TauDEM (*Terrain Analysis Using Elevation Model*) é um conjunto de ferramentas para a extração e análise de informações hidrológicas da topografia, usando Modelo de Elevação Digital (DEM – *Digital Elevation Model*). O TauDEM é atualmente encontrado como uma das opções extensíveis (plugin) (TAUDEM, 2018).

Segundo Santos (2015), seu uso destaca-se, principalmente, em: desenvolver DEM hidrológicamente correto (através da remoção de depressões); calcular as direções do fluxo e a declividade; calcular a área de contribuição usando métodos de direção de fluxo simples e múltiplos; possui diversos métodos para realizar a delimitação de redes de drenagem, possui métodos objetivos para determinar o limiar para delimitação de rede de canais, usando como base o fluxo de gotas; realizar delimitação de bacias hidrográficas e sub-bacias.

2.6.6 System For Automated Geoscientific Analyses (SAGA)

Assim como o QGIS, SAGA (*System for Automated Geoscientific Analyses*) é um programa de SIG que apresenta uma interface facilmente acessível com diversas opções de visualização. Também tem uso livre, a maioria de seus códigos foram licenciados pela GPL.

O desenvolvimento do SAGA começou no final da década de 90, por uma equipe do Departamento de Geografia Física da Universidade de Hamburgo, Alemanha. E em 2005, foi criada a SAGA User Group Association, uma organização sem fins lucrativos e com o objetivo de ampliar o desenvolvimento do programa de forma que atenda a ampla gama de interesse dos usuários.

Foi projetado para implementar de forma fácil e eficaz algoritmos espaciais, e oferece aos usuários um conjunto abrangente e crescente de métodos geocientíficos. Diferente do QGIS, sua execução é possível somente, nos sistemas Windows e Linux (SAGA, 2018).

Até este momento, a versão mais atual do programa é o SAGA 6.4.0, lançada em junho de 2018.

2.6.7 MapWindow

Assim como os programas anteriores, o MapWindow (MW) também é um programa de SIG de uso livre, que exibe uma arquitetura de plugins extensível, um controle GIS ActiveX, e uma biblioteca de programadores C# GIS nomeada DotSpatial (MAPWINDOW, 2018).

Foram desenvolvidos, ao longo do tempo, três aplicativos do programa: o MapWindow v4.x, o MapWindow5 e o MapWinGIS.

MapWindow v4.x foi desenvolvido em 1998 e é um visualizador de dados espaciais gratuito e pronto para uso e sistema de informações geográficas que podem ser modificados e estendidos usando plugins.

MapWindow5 foi desenvolvido em 2015. Ele é uma versão melhorada e modificada do MW v4, que conservou toda sua funcionalidade e também aceita receber extensões através de plugins. Seus recursos são: suporte a banco de dados geográficos, suporte WMS, navegador de repositório, caixa de ferramentas com tarefas reinicializáveis entre outros, no entanto, eles não são disponíveis para o MW v4.

MapWinGIS ou MapWinGIS.ocx é usado para fornecer a funcionalidade de mapeamento/GIS para aplicativos baseados em Windows Forms escritos pelo usuário. O código pode ser escrito em Visual Basic 6, VB.NET ou C # e pode ser comercial ou gratuito. O MapWinGIS é o controle de mapeamento usado no MW v4 e no MW5.

2.7 PROGRAMA PRODUTOR DE ÁGUA

Diante dessa necessidade ambiental, as Unidades de Conservação circundadas por pólos irrigados, seriam ótimas áreas estratégicas para estimular os

produtores a participar do programa, que teria como consequência um aumento e manutenção do fluxo dos corpos hídricos subterrâneos e superficiais.

Bacia hidrográfica é uma área de captação natural de águas provenientes de chuvas que são convertidas em escoamentos superficiais direcionados a um único ponto de saída (PAZ, 2004). A bacia hidrográfica é a condição natural que expõe mais claramente os efeitos da ação humana num ecossistema (MACHADO, 2002).

Os aspectos físicos (relevo, geologia, tipo de solo e cobertura vegetal), climatológicos e antropológicos estão diretamente ligados a qualidade e quantidade de água num manancial, que por sua vez, compõe uma bacia hidrográfica.

A gestão dos recursos hídricos possui como principal base conservar a água e o solo. Essa gestão aplicada de forma ideal, possibilita um aumento do fluxo hídrico nas bacias, gerado pela recarga adequada dos mananciais subterrâneos, assim como melhorando sua qualidade; ao mesmo tempo que estimula o uso consciente e o reuso dessas águas, reduzindo a vazão captada e o volume de rejeitos despejado em corpos d'água.

Na agricultura, o uso e manejo impróprio do solo podem ter como principal impacto negativo um intenso processo erosivo. Atividades como: desmatamentos, queimadas e uso inadequado de equipamentos agrícolas estão entre algumas práticas prejudiciais, e suas consequências são: diretamente, desestruturação e perdas nutricionais do solo, e indiretamente, alterações da qualidade e quantidade de água nos corpos hídricos da área causados por processos de sedimentação e erosão (ANA, 2012).

Considerando o impacto ambiental gerado, a Agência Nacional de Águas desenvolveu um programa denominado "Produtor de Água", cujo princípio fundamental é incentivar a política de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no país. Wunder (2005) definiu PSA como um acordo voluntário, na qual um serviço ambiental bem definido é adquirido por um comprador de um prestador do serviço.

Projetos que tenham como foco reduzir a erosão e o assoreamento de mananciais na zona rural, são orientados ou apoiados pelo Programa, pois essas ações tem como objetivo melhorar a qualidade e, conseqüentemente, a regularidade na oferta de água na bacia hidrográfica em questão.

O Programa é voltado à conservação de mananciais estratégicos, no qual, os produtores participantes são estimulados a desenvolver ações para que haja uma diminuição dos processos erosivos e do assoreamento de mananciais no ambiente rural (ANA, 2018). Os produtores participantes recebem compensações financeiras proporcionais ao serviço de redução da sedimentação da bacia. Nessa situação, o acompanhamento dos resultados torna-se imprescindível para comprovar e validar o serviço prestado, principalmente quando o PSA está sendo realizado (SMITH et al., 2008).

O Programa foi desenvolvido com base em programas de cunho agroambiental, sendo assim, são de participação voluntária e descentralizada (CHAVES et al., 2004). No Brasil, os projetos do Programa Produtor de Água começaram a ser implantados em 2007, nos estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Atualmente, há mais 15 projetos ativos em todo o país, distribuídos entre os estados do Acre, Tocantins, Mato Grosso do Sul, Distrito Federal, Goiás, Minas Gerais, Paraná, Espírito Santo, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

De todos os projetos implantados o mais famoso é o de Extrema (MG), que começou em 2008 e ganhou destaque nos últimos anos por ser modelo na implementação do Programa Produtor de Água. Em Extrema, o foco principal é restaurar e preservar as várias nascentes pertencentes a região, cujas águas, alimentam riachos e desaguam no rio Jaguari, um dos rios que ajudam a alimentar o Sistema Cantareira, que é responsável por manter 55% da população da região metropolitana de São Paulo. O programa remunera os produtores rurais, que recuperam e protegem áreas circunvizinhas a nascentes e cursos d'água, levantando em consideração o tamanho da área recuperada, e o valor total da remuneração é relacionado com à recuperação do solo, ao saneamento ambiental e à cobertura vegetal.

2.8 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Os Índices de Vegetação (IV) estão entre as técnicas para aquisição de informações ambientais, mais amplamente usadas no monitoramento da cobertura vegetal do mundo, pois usam diversas combinações de dados multiespectrais de

satélite para compor uma única imagem (MASCARO, 2004). E o Sensoriamento Remoto é a ferramenta que permite a obtenção desses dados, através de sensores remotos orbitais que geram imagens digitais compostas por pixels, cada pixel possui um número digital, e este está relacionado à radiação eletromagnética dos alvos que chegam ao sensor (TEIXEIRA et al., 2017).

Os IV são medidas radiométricas adimensionais que indicam a quantidade e atividade da vegetação, a radiação fotossinteticamente absorvida (APAR), o teor de clorofila, a percentagem de cobertura vegetal e a biomassa verde apresentada (JENSEN, 2009). São valores diretamente proporcionais a disponibilidade hídrica, assim, imagens de satélite de estações chuvosas e secas apresentarão resultados distintos. Entretanto, as imagens mais nítidas (com menor presença de nuvens) são aquelas do período de estiagem. E de acordo com Huxman et al. (2004), nos meses mais úmidos do ano são registrados também os mais altos valores dos IV, já que há um aumento na atividade fotossintética das plantas, e conseqüentemente, uma maior produtividade; entretanto, nos meses mais secos são registrados os valores mais baixos dos IV, e as plantas apresentam um comportamento oposto, exibindo folhas senescentes e baixa produtividade.

2.8.1 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) foi proposto por Rouse et al. (1974), e é a razão entre a diferença e a somatória das reflectâncias das faixas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (R) (Equação 4). Que gera uma normalização da razão simples que varia entre -1 e 1, nos quais os valores de -1 a 0 (zero) representa a presença de materiais com ausência de clorofila (nuvens ou solo exposto), enquanto que os valores de 0 (zero) a 1 representam a presença de materiais com presença de clorofila, quanto mais próximo a 1, maior é a atividade fotossintética na área.

$$NDVI = \frac{(NIR-R)}{(NIR+R)} \quad (\text{Equação 4})$$

A primeira análise espaço-temporal realizada foi o NDVI, que é o IV mais amplamente, utilizado para avaliar as condições da vegetação verde, ou seja, sua atividade fotossintética. Para Rosendo (2005), quanto mais a proximidade do valor a 1, mais densa é a vegetação, já se o valor for 0 (zero) há uma indicação de superfície sem vegetação.

Segundo Jensen (2009), a importância da utilização do NDVI pode ser dividida em 2 fatores: a) acompanhamento das mudanças, sazonais e interanuais, no comportamento e desenvolvimento da vegetação, e b) redução de ruídos, como variações topográficas e diferença da iluminação solar, devido ao uso da Equação 4.

2.8.2 Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI)

O Índice de Água por Diferença Normalizada (Normalized Difference Water Index - NDWI) foi proposto Gao (1996), e é a razão entre a diferença e a somatória das reflectâncias das faixas do infravermelho próximo (NIR) e do infravermelho médio (SWIR1), como mostrado na Equação 02. Os valores para esse índice também variam entre -1 a 1, nos quais os valores de -1 a 0 (zero) indicam uma mínima quantidade ou ausência de água, enquanto que os valores de 0 (zero) a 1 representam a presença mais efetiva de água, quanto mais próximo a 1, maior é o percentual hídrico na cobertura vegetal.

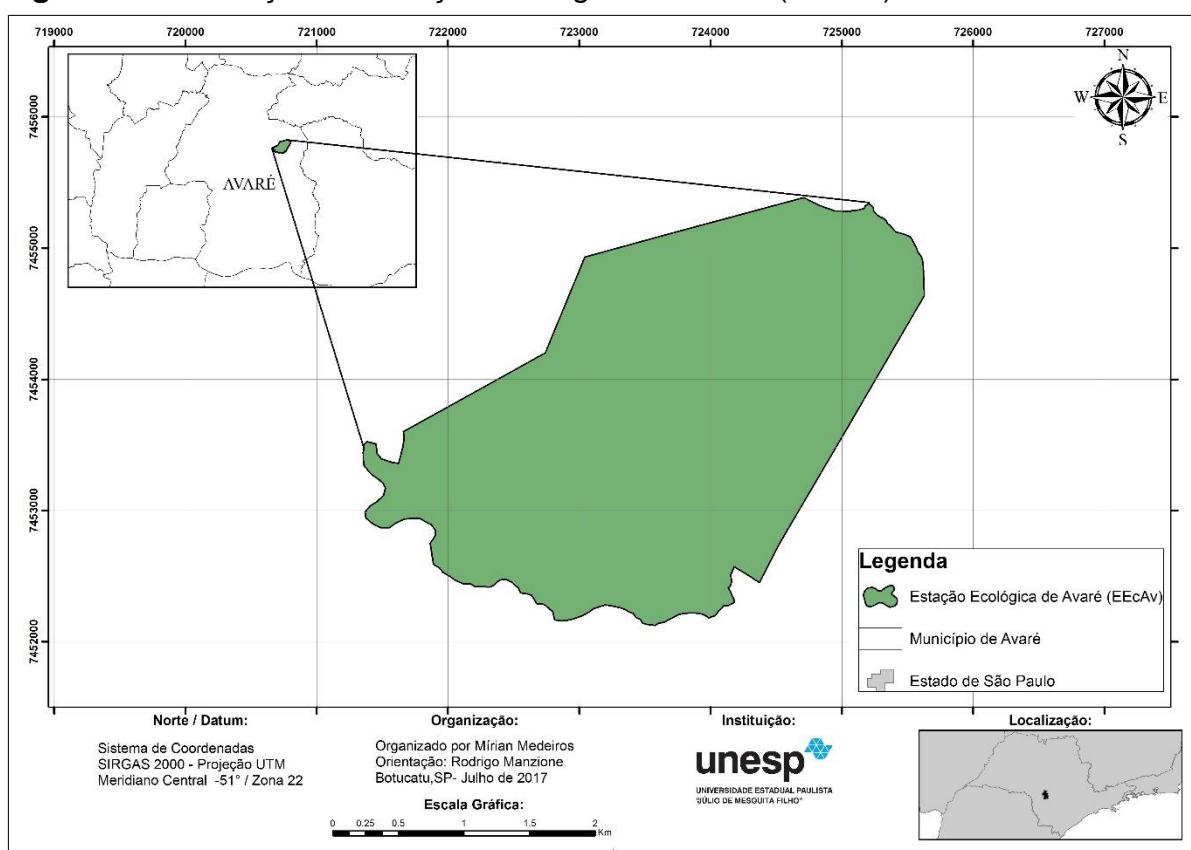
$$NDWI = \frac{(NIR - SWIR1)}{(NIR + SWIR1)} \quad (\text{Equação 5})$$

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é a Estação Ecológica de Avaré (EEcAv), antigo Horto Florestal Andrada e Silva, localizada no município de Avaré/SP, que está situado na região sudoeste do Brasil, sob as coordenadas – Latitude ($22^{\circ}1'31''$ a $22^{\circ}59'39''$ S) e Longitude ($48^{\circ}47'54''$ a $48^{\circ}50'21''$ O) (Figura 5), ocupa uma extensão territorial de, aproximadamente, 720 hectares.

Figura 5. Localização da Estação Ecológica de Avaré (EEcAv).



Com o intuito de ampliar o conhecimento sobre a EEcAv, alguns trabalhos foram desenvolvidos na área, como: Galetti (2013) estudou a paisagem natural da estação, assim como a paisagem modificada de seu entorno; Cielo Filho et al. (2015) analisaram e identificaram a presença de espécies do Cerrado; e Arzolla et al. (2016) estudaram a conversação do Horto Florestal Andrade e Silva em Estação

Ecológica, assim como a identificação de espécies vegetais e animais presentes na área.

A exemplo de outros hortos florestais, a criação do Horto Andrada e Silva, no município de Avaré, ocorreu, inicialmente, com a finalidade de cultivar eucalipto para atender a demanda de madeira para ferrovias, diante do desmatamento já existente. No entanto, após algumas décadas de cultivo houve a extinção do plantações, o que permitiu que a vegetação nativa (Cerrado) se desenvolvesse novamente, surgindo a chance de converter aquela área numa Unidade de Conservação (ARZOLLA et al., 2016).

De acordo com o Mapa Geomorfológico do IPT (1981), a área estudada (EEcAv) localiza-se sob a Formação Marília do Grupo Bauru, formando junto com as Formações Adamantina, Santo Anastácio e Caiuá, o Sistema Aquífero Bauru (SAB). Nessa formação podem estar presentes arenitos de granulação fina a grossa, compreendendo bancos maciços com tênues estratificações cruzadas de médio porte, podendo incluir lentes e intercalações subordinadas de siltitos, argilitos e arenitos muito finos com a estratificação plano-paralela e frequentes níveis rutáceos. A presença de nódulos carbonáticos também é frequente (IPT, 1981). Esses sedimentos do Cenozoico se depositaram sobre os derramamentos basálticos da Formação Serra Geral, que junto com os arenitos das Formações Botucatu e Piramboia formam o Grupo São Bento, da Bacia Sedimentar do Paraná. Fraturas nos basaltos que formam o Sistema Aquífero Serra Geral podem intercomunicar as camadas superiores do SAB com outro importante sistema aquífero, o Sistema Aquífero Guarani (SAG).

Entender a dinâmica dos sistemas aquíferos a partir das relações solo-planta-atmosfera é fundamental para a conservação da água e do solo, subsidiar uma gestão racional e sustentável de recursos hídricos e fomentar estudos nessa área. Nesse sentido o papel da vegetação nativa e dos sistemas agrícolas sob essa dinâmica deve ser estudado por métodos adequados que quantifiquem a demanda hídrica dos sistemas e os respectivos déficits/excedentes hídricos a que uma bacia está apresentando.

3.2 VEGETAÇÃO PRESENTE NA EEcAv

Na EEcAv foram identificadas importantes família botânicas de dois importantes ecossistemas brasileiros: Cerrado (612,47 ha) e Mata Atlântica (91,02 ha) (ARZOLLA et al., 2016). Há predominância está entre três subgrupos do bioma Cerrado: Savana Florestada (Cerradão - 306,7 ha), Savana Arborizada (Campo Cerrado e Cerrado *Stricto sensu* - 212,42 ha) e Savana Gramíneo-Lenhosa (Campo Limpo e Campo Sujo - 93,35 ha), que podem ser diferenciadas pela cobertura dos estratos arbóreo e herbáceo (CIELO FILHO et al., 2015). Também foram identificadas formações de Mata Atlântica: Floresta Estacional Semidecidual Montana e Floresta Estacional Semidecidual Aluvial. Devido à presença desses biomas, é possível perceber também a existência tanto de fauna na localidade.

Segundo o Plano de Manejo da Estação Ecológica de Avaré (2018), na área da estação foram registradas 263 espécies nativas que foram distribuídas em 170 gêneros e 65 famílias de plantas vasculares. Algumas famílias possuem uma maior representatividade de espécies, como a Fabaceae (35), Asteraceae (28), Myrtaceae (21), Rubiaceae (20), Lauraceae (11), Malvaceae (9), Bignoniaceae, Melastomataceae e Poaceae (8), Euphorbiaceae (7), Lamiaceae e Celastraceae (6), significando um total de 64% das espécies registradas. Cerca de 41% das famílias estiveram representadas por apenas uma espécie. Já os gêneros mais ricos foram Myrcia e Miconia (7 espécies), Ocotea (6), Chromolaena, Eugenia, Myrsine (4), Solanum, Palicourea, Piptocarpha, Pterocaulon, Jacaranda, Maytenus, Erythroxylum, Chamaecrista, Mimosa, Nectandra, Sida, Campomanesia, Chomelia e Cordiera (3 espécies cada).

3.3 CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS E FÍSICAS

Temperatura e Precipitação: a média anual para o município são, respectivamente, 20,3°C e 1300 mm (SENTELHAS, 1999).

Clima: para a região, segundo a classificação climática de Köppen, é do tipo subtropical ou tropical de altitude (Cwa), com inverno seco e verão quente (MARIANO, 2014).

Elevação: quanto à altitude, há uma variação de 700 a 803 metros, no entanto, ocorre uma predominância entre 740 a 780 metros.

Hidrologia: compõe o UGRHI 17 – Médio Paranapanema. A hidrografia da área é formada por afluentes do Rio Novo, como o Córrego Andrade e Silva, e uma pequena parte pelo Córrego Água da Canela, afluente do Rio Pardo.

Solo/Geologia: na localidade ocorrem os Latossolos Vermelhos que se desenvolveram sobre os arenitos da Formação Marília (OLIVEIRA et al., 1999). A área está situada no Planalto Ocidental, de acordo com o Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo (IPT, 1981).

3.4 DADOS PRIMÁRIOS

Como dados primários para o início dos trabalhos, foram obtidos:

1. Dados climatológicas disponibilizados no sistema CIIAGRO online (<http://www.ciiagro.sp.gov.br>);
2. Mapa de solos do estado de São Paulo;
3. Material topográfico referente ao estado de São Paulo (Tabela 3);

Tabela 3. Fontes de dados (IBGE, 1973) do material topográfico

Objeto	Região	Escala	Fonte
SF-22- Z-B-V-3 (carta topográfica)	Rio Palmital	1: 50 000	IBGE
SF-22- Z-D-II-1 (carta topográfica)	Avaré	1: 50 000	IBGE
SRTM (30 m)	-	-	USGS*
SRTM (30 m)	-	-	USGS*

*USGS Earth Explorer

4. Dados dos sensores presentes em todos os poços da área de estudo, que coletaram as informações referentes aos níveis freáticos. Para esse trabalho, foram realizadas coletas nos dias: 25/06/2014 e 11/12/2017.
5. Duas cenas do satélite LANDSAT 8, sensor OLI/TIRS, correspondentes as órbitas 220 e 221/ponto 076, referentes a dois períodos 25/06/2014 (inverno) e 29/11/2017 (verão), a projeção adotada foi o SIRGAS 2000, UTM 22S.

3.5 DADOS CLIMATOLÓGICOS

Na análise dos dados climatológicos (precipitação e evapotranspiração) foram utilizadas duas fontes primárias: os sensores orbitais e a estação meteorológica. Os dados dos sensores orbitais foram obtidos do sensor Precipitation Radar (PR) a bordo do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) e o produto MOD16 do sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) a bordo dos satélites Terra e Aqua. Os dados da estação meteorológica foram obtidos acessando as informações da estação presente no município de Avaré, existente na plataforma CIIAGRO (Portal Agrometeorológico e Hidrológico do Estado de São Paulo), através do link (<http://www.ciiagro.org.br/>). Os dados foram analisados, mensalmente, de janeiro de 2004 a dezembro de 2013.

Os dados do satélite TRMM, referentes a precipitação, foram acessados na plataforma GIOVANNI (<http://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>) e os dados do sensor MODIS, referentes a evapotranspiração, foram acessados em NTSG_Products/MOD16 (<http://www.ntsg.umd.edu/project/mod16>).

3.6 PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO UTILIZADOS

Para a realização dessas análises foram utilizadas:

- Duas imagens do satélite LANDSAT 8, uma de 2014 e outra de 2017;
- Informações do sensor Precipitation Radar (a bordo do satélite TRMM), no período de 2004 a 2013;
- Informações do sensor MODIS (a bordo dos satélites Terra e Aqua), através do produto MOD16 (Evapotranspiration), no período de 2004 a 2013;
- E três programas (QGIS, SAGA e MapWindow).

3.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS CLIMATOLÓGICOS

Inicialmente, foram realizados cálculos de médias (\bar{x}), medianas (\tilde{x}), desvio padrão (σ), com os dados obtidos dos sensores e da estação, usando as seguintes fórmulas:

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (\text{Equação 1})$$

$$\tilde{x} = \frac{(n+1)}{2} \quad (\text{Equação 2})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}} \quad (\text{Equação 3})$$

Posteriormente, foi realizada uma verificação da similaridade de distribuição dos dados calculando o coeficiente de correlação de Pearson (ρ) (SOUSA, 2012; CALLEGARI-JACQUES, 2003), junto com a reta de regressão linear e o coeficiente de determinação (R^2) para avaliar a relação entre as séries de dados.

O coeficiente de correlação de Pearson (ρ) seria a quantificação da relação linear existente entre as duas ou mais variáveis. E o coeficiente de determinação (R^2) é um indicador da qualidade do ajuste obtido através do modelo, sendo assim, quantifica a variabilidade dos dados através do modelo de regressão ajustado.

Para avaliação estatística, foi utilizado o teste não paramétrico de ajustamento, Kolmogorov-Smirnov (D), para as duas amostras (TRIOLA, 2008), como também foi realizado o cálculo da função de distribuição de probabilidade acumulada (WILKS, 2006).

O Teste de Kolmogorov-Smirnov ficou conhecido por ser uma averiguação entre a distribuição de um grupo de dados amostrais e uma determinada distribuição teórica. Ou seja, o teste realiza uma comparação entre as distribuições de frequências acumulada, que precisariam ocorrer sob uma distribuição hipotética (H_0), com a distribuição de frequências acumuladas dos dados observados (dados amostrais).

Assim, o resultado do teste de Kolmogorov-Smirnov é a maior diferença de todas as diferenças é posta em módulo e chamada desvio máximo.

Então, $D > D_T$, H_0 é rejeitado; $D < D_T$, H_0 é aceito, onde D_T é o valor tabelado do teste de Kolmogorov-Smirnov.

A função de distribuição de probabilidade acumulada ou cumulativa agrega a cada dado de uma análise uma probabilidade, ou seja, cada dado tem uma probabilidade de uma variável casual. A função de distribuição da variável casual X é uma função que a cada número real x associa o valor $F(x) = P(X \leq x)$, $x \in R$. Para determinar os valores da equação ($y = \alpha + \beta x$) da curva de regressão, foi utilizado Método dos Mínimos Quadrados, que estima valores para a variável y a partir da variável x .

3.8 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA ÁREA DE ESTUDO

Para elaboração dos mapas temáticos foram utilizados os seguintes programas:

- QGIS, versão 2.8.3;
- MapWindow GIS, versão 4.8.8, com extensão do pacote TauDEM;
- SAGA, versão 2.1.2.

Para análise espacial da EEcAv e seu entorno, foi estabelecida uma área de 6 km a partir dos limites da estação.

3.8.1 Mapa Hipsométrico (MDT)

O SRTM e o ASTER são exemplos de modelos digitais de elevação resultantes do processamento de informações obtidas por diferentes sensores remotos, há também modelos que são derivados do Projeto TOPODATA organizado pelo INPE, esses modelos sofrem correções computacionais tornando-se mais precisos, por exemplo, o MDE ou MDT (Medeiros, 2019).

O MDT (Modelo Digital do Terreno) é uma representação quantitativa da distribuição de características espaciais da superfície da Terra, sem as especificações da vegetação e das edificações. Esse modelo, por está associado, diretamente, à altimetria, também pode ser empregado para modelar informações relacionadas às unidades geológicas, como teor de minerais ou propriedades do solo ou subsolo (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

O SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) foi uma missão que adquiriu dados espaciais da superfície terrestre a partir de radares (TOMASIELLO, 2010). Assim, foi elaborado um mapa com resolução de 30 metros, usando dados do SRTM (Figura 13), cujas altitudes variam de 693 a 810 metros.

3.8.2 Mapa Clinográfico (Declividade)

O mapa clinográfico possui uma importância ímpar por representa a composição espacial dos graus de inclinação de determinada superfície terrestre, possibilitando dessa forma, diversos estudos relacionados à paisagem do terreno (Dias, 2016).

O mapa de declividade (Figura 14) é um derivado do MDT e foi confeccionado a partir do SRTM de 30 metros utilizando o programa livre QGIS, e expõe a distribuição dos diferentes níveis de declividade da área de estudo, visando a espacialização das classes de declive em percentagem.

3.8.3 Composição Colorida (RGB)

A geração de imagens coloridas ocorre por um processo que combina três imagens derivadas das três bandas espectrais: vermelho, verde e azul (RGB). As composições coloridas compõem uma excelente ferramenta para análise visual em imagens de satélite, contribuindo para a discriminação das unidades (CÁRDENAS, 1999), ou seja, possibilita a obtenção de mais informações sobre as feições terrestres, do que o uso de uma imagem que possui somente uma banda. A

composição colorida permite que o olho humano faça uma distinção entre as tonalidades resultantes.

3.8.4 Modelagem das Águas Subterrâneas

3.8.4.1 Mapeamento do Fluxo das Águas Subterrâneas

O fluxo das águas subterrâneas na EEcAv foi analisado a partir do pacote TauDEM do MapWindow com auxílio dos programas QGIS e SAGA.

Foram trabalhados três materiais sobre o mapeamento do fluxo das águas subterrâneas: o mapa de Direção de Fluxo, o mapa de Fluxo Acumulado e o Índice Topográfico de Umidade (ITU).

Para melhor explicar a elaboração dos mapas de Direção de Fluxo e Fluxo Acumulado, a metodologia foi dividida em três etapas: (1) construção do Modelo Digital do Terreno (MDT) com níveis freáticos, (2) eliminação das depressões artificiais e (3) cálculo da direção do fluxo.

Etapa 1: Na construção do MDT com níveis freáticos, foi utilizado o SRTM (30 metros) disponibilizado pela USGS e os dados dos sensores dos poços, que são a profundidade dos níveis freáticos. Os dados dos poços foram convertidos em uma camada vetorial, essa camada foi interpolada ao MDT usando o método IQD (Inverso do Quadrado da Distância), em seguida, a partir da álgebra de mapas, houve uma subtração do MDT pela profundidade dos níveis freáticos do arquivo interpolado gerando assim uma superfície que representa a cota dos níveis freáticos. Esse processo foi realizado no programa QGIS e repetido para cada período coletado. As coletas dos poços foram realizadas em: 25/06/2014 e 11/12/2017. Posterior ao aprofundamento da drenagem, com a finalidade de conservar a conectividade do fluxo ao longo do canal, realizou-se o preenchimento das depressões artificiais e o cálculo da direção de fluxo.

Etapa 2: O arquivo gerado pela Etapa 1 foi trabalhado no programa MapWindow GIS com uma extensão do pacote TauDEM, nessa etapa foram identificadas e eliminadas a ocorrência de imperfeições (depressões artificiais ou espúrias) que foram preenchidas de forma a possibilitar uma continuidade do fluxo.

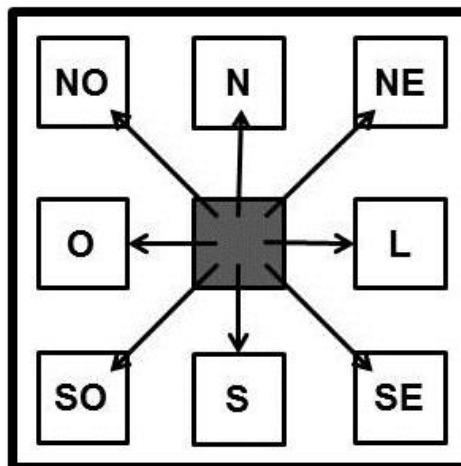
As imperfeições podem ter duas causas: erros introduzidos durante o processo de interpolação ou erros existentes nos dados de entrada (TRIBE, 1992; GARCIA; CAMARASA, 1999). Segundo Oliveira et al. (2007a), as imperfeições são normalmente centralizadas em ambientes com alta umidade, como locais de inundação, ou próximo a determinados tipos de paisagem onde um MDT, com uma resolução baixa, não consiga representá-los, como depósitos de sedimentos ou dunas.

São diversos os métodos propostos para o preenchimento das imperfeições. Jenson; Domingue (1988) desenvolveram o método mais seguro, que apenas eleva as células contidas dentro das imperfeições. O algoritmo desenvolvido por eles possui dois pontos gerais: (1) atribuir direções de fluxo de acordo com a maior declividade (2) adicionar de forma artificial uma altitude às células ou conjunto de células que compõem as áreas de depressão, até que seja obtido a direção do escoamento (BUARQUE et al., 2009).

Etapa 3: Ainda trabalhando no MapWindow GIS, iniciou-se o procedimento de determinação das direções do fluxo, o método escolhido foi o D8. Segundo Oliveira et al. (2007b), o método D8 é a metodologia mais usual para a delimitação da estrutura de drenagem. O cálculo desse método é baseado na determinação da direção do fluxo de cada célula da grade sendo considerada a maior declividade entre a célula central e as oito células circunvizinhas (N, NE, L, SE, S, SO, O e NO) (Figura 6), sendo que o escoamento sempre ocorre para uma das oitos células (O'CALLAGHAN; MARK, 1984).

Figura 6. Codificação utilizada para distinguir as oito direções de fluxo possíveis no método D8.

Fonte: Elaborado pela autora.



Para finalização dos mapas de Direção de Fluxo, os arquivos gerados foram novamente trabalhados no QGIS para evidenciar o comportamento da direção do fluxo para cada período coletado.

De acordo com Valeriano (2007), fluxo acumulado também conhecido como área de captação, é um parâmetro que mostra o nível de afluência do escoamento, sua obtenção, seja ela manual ou computacional, é complexa, pois unifica características de comprimento de rampa (conexão com divisores de água a montante) e a curvatura horizontal (afluência e divergência das linhas de fluxo).

O mapa de Fluxo Acumulado foi concluído após as 3 etapas citadas acima, esse é um mapa único, pois o fluxo é contínuo, independente das coletas dos níveis freáticos.

Quanto ao mapa do ITU, a metodologia aplicada é diferente dos demais mapas. Para confecção desse mapa, usando o MDT como base, foi trabalhado no programa SAGA, e dividido em duas etapas: (1) área de contribuição e declividade, e (2) cálculo do ITU.

Etapa 1: Elaborar um mapa de fluxo da área de contribuição, utilizando o método D-infinity que, diferentemente, do método D8 atribui múltiplas direções para o fluxo. Em seguida é elaborado o mapa de declividade.

O método D8 apresenta-se apropriado para zonas de fluxo convergente e para vales definidos, no entanto, para demais situações erros são verificados. De acordo com Tarboton (1997); Costa-Cabral; Burges (1994) e Quinn et al. (1991), outros métodos são sugeridos considerando uma direção de fluxo não discreta ou um fluxo em múltiplas direções. Quando comparado com o método D8, os métodos que utilizam fluxos não discretos apresentam uma diminuição nos erros relativos à direção de fluxo, tendo como consequência, uma melhor delimitação do canal (FREEMAN, 1991; DESMET; GOVERS, 1996, RAMOS et al., 2003).

Etapa 2: Após a obtenção dos mapas na Etapa 1, e utilizando a álgebra de mapas é confeccionado o mapa de ITU, através do Log natural (ln), da divisão do mapa da área de contribuição (Ac) específica por unidade de largura ortogonal à linha de fluxo ($m^{-2} m^{-1}$), que é uma medida que simula o volume potencial do escoamento superficial num determinado ponto da vertente, pela tangente do mapa de declividade local ($tg \beta$) (Equação 4) (BEVEN; KIRKBY, 1979, WILSON; GALLANT, 2000).

$$ITU = \ln \left(\frac{Ac}{tg \beta} \right) \quad (\text{Equação 4})$$

O ITU é um índice topográfico secundário, pois foi calculado a partir da combinação de dois índices primários (a área de contribuição e a declividade da área). E sua principal utilização é para identificar as zonas de saturação superficial, evidenciando na área os pontos de acúmulo de água, ou seja, é um indicativo da disponibilidade, em longo prazo, da umidade do solo em um certo ponto da paisagem (MOORE, et al. 1993).

Assim como o mapa de Fluxo Acumulado, o mapa do ITU também é um mapa único.

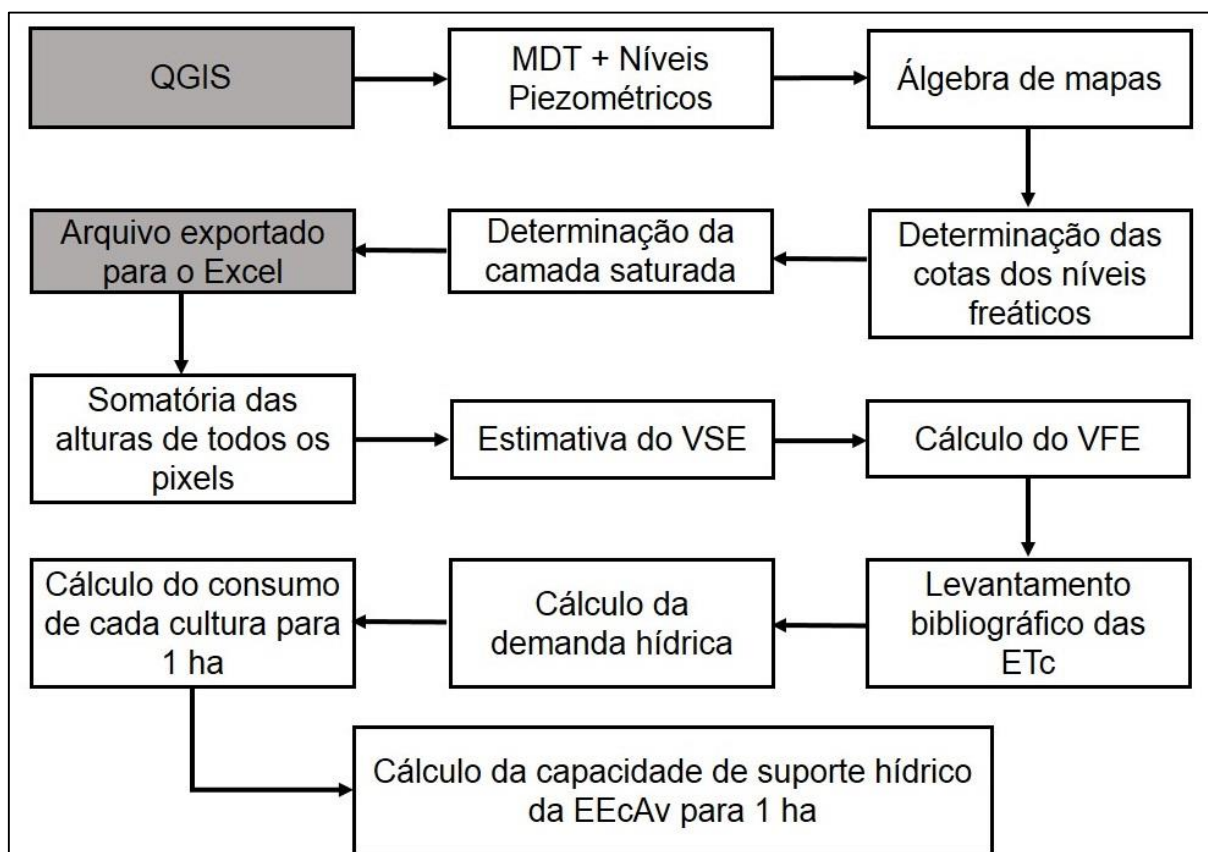
3.9 VOLUME EXPLORÁVEL

Uma variável a ser considerada e definida na tomada de decisão para a formulação de um plano integrado de gestão hídrica, seja ela local ou de uma bacia hidrográfica, é o volume explorável (NAVA, 2015).

Para realizar tais cálculos, algumas informações hidrológicas são importantes, como a Porosidade Efetiva do Sistema Aquífero Bauru, que segundo o DAEE (2005), pode variar entre 5 e 15%; e segundo Tucci (2009), 20% é a percentagem máxima explorável para as águas subterrâneas, sem que haja prejuízos para o lençol freático, esse seria o volume explorável.

Para realizar o cálculo de estimativa do volume subterrâneo explorável da área da EECav, o processo foi dividido em duas etapas: (1) realizada no QGIS e a (2) realizada no Excel (Figura 7). O cálculo foi baseado nos níveis piezométricos do dia 25 de junho de 2014.

Figura 7. Fluxograma dos cálculos realizados para obter os valores da capacidade de hídrico da área.



1) Cálculo do Volume Final Explorável (VFE) (em L)

$$VFE = VSE \times \phi_e \times A_p \times 1000 \quad (\text{Equação 5})$$

VSE: Volume Subterrâneo Existente;

ϕ_e : Porosidade efetiva da área, foi usado o valor de 15% segundo DAEE (2005);

A_p : Área do pixel ($30,341 \times 30,3545 = 920,986 \text{ m}^2$).

2) Cálculo da capacidade de suporte hídrico

$$N^{\circ} \text{ hectares} = \frac{VFE}{DH} \quad (\text{Equação 6})$$

N° hectares: Número de hectares suportados pelo volume subterrâneo da área, em um ciclo de cada cultura;

DH: Demanda hídrica para 1 ha, em mm;

VFE: Volume Final Explorável, em L.

Segundo Bergamaschi et al. (2001), o milho possui um consumo médio diário de 5 mm dia^{-1} ; Fernandes; Turco (2003) estimaram que o consumo médio da soja é $3,7 \text{ mm dia}^{-1}$; e Cruz et al. (2005) estimaram para a laranja um consumo médio de $1,2 \text{ mm dia}^{-1}$ (Tabela 4).

Tabela 4. Demanda hídrica para cada cultura

Cultura	ETc (mm dia ⁻¹)	Ciclo (dias)	Demanda hídrica em 1 ciclo (mm)	Demanda hídrica em 1 ha (mm)	Demanda hídrica em 1 ha (m ³)
Milho	5	110	550	5.500.000	0,00550
Soja	3,7	130	481	4.810.000	0,00481
Laranja	1,2	377	452,4	4.524.000	0,00452

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 ANÁLISE DOS DADOS CLIMATOLÓGICOS

4.1.1 Avaliação dos dados obtidos em estações climatológicas e pelo satélite TRMM

Na Tabela 5, pode-se perceber que os parâmetros relacionados à estatística básica (\bar{x} , σ e \tilde{x}) entre o CIIAGRO e o TRMM, mostram valores relativamente próximos. Assim, é interessante observar os demais parâmetros, pois estes confirmam a correlação existente entre os dados fornecidos pelo sensor Precipitation Radar a bordo do satélite e os observados na estação.

Tabela 5. Parâmetros estatísticos calculados para os dados da estação meteorológica (CIIAGRO) e do satélite TRMM (em mm) para a variável precipitação, no período de 2004 a 2013

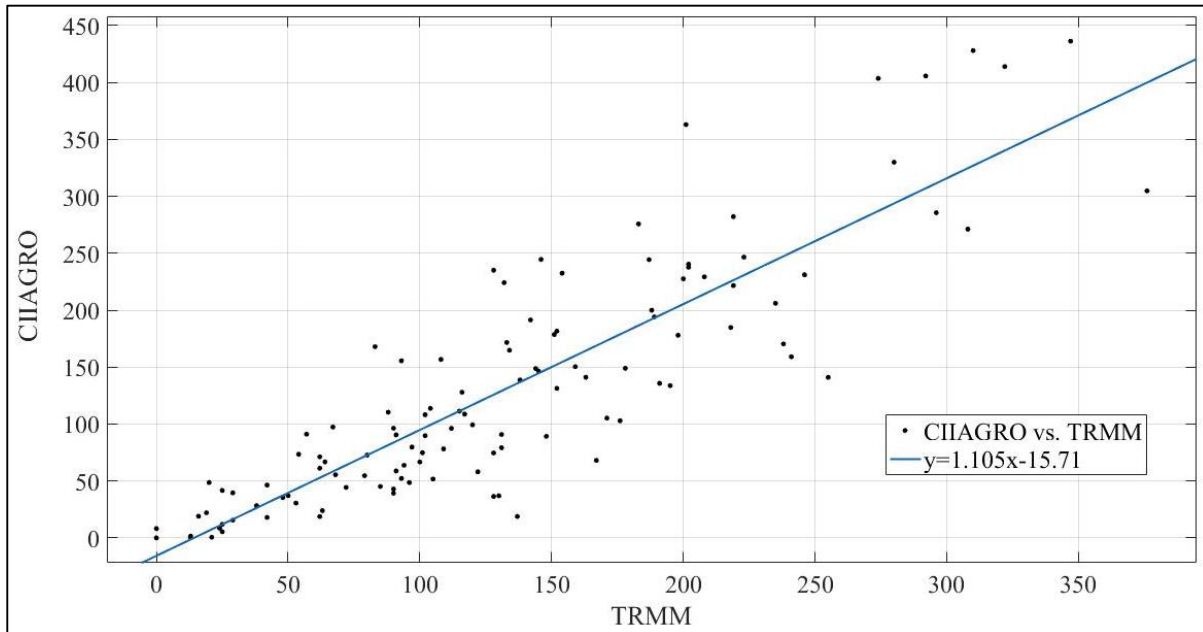
Parâmetro	TRMM	CIIAGRO
Média (\bar{x})	131,10	129,20
Desvio padrão (σ)	81,36	103,23
Mediana (\tilde{x})	120,00	99,30
Coeficiente de Pearson (ρ)		0,8711
Coeficiente de determinação (R^2)		0,7589
Variável da equação (B)		1,1050
Variável da equação (α)		-15,7100
Kolmogorov-Smirnov calculado (D)		0,0902
Kolmogorov-Smirnov tabelado D_T		1,3581

Os dados apresentam um coeficiente de correlação de Pearson (ρ) de 87%, concordando com o resultado encontrado por Ramires et al. (2015), e segundo Sousa (2012); Callegari-Jacques (2003) possuem uma forte correlação positiva.

No teste de Kolmogorov-Smirnov obteve-se $D < D_T$ que indica o H_0 foi a hipótese aceita, indicando que as amostras estão em uma mesma distribuição na população, assim como ocorrido com os resultados entre o CIIAGRO e MOD16.

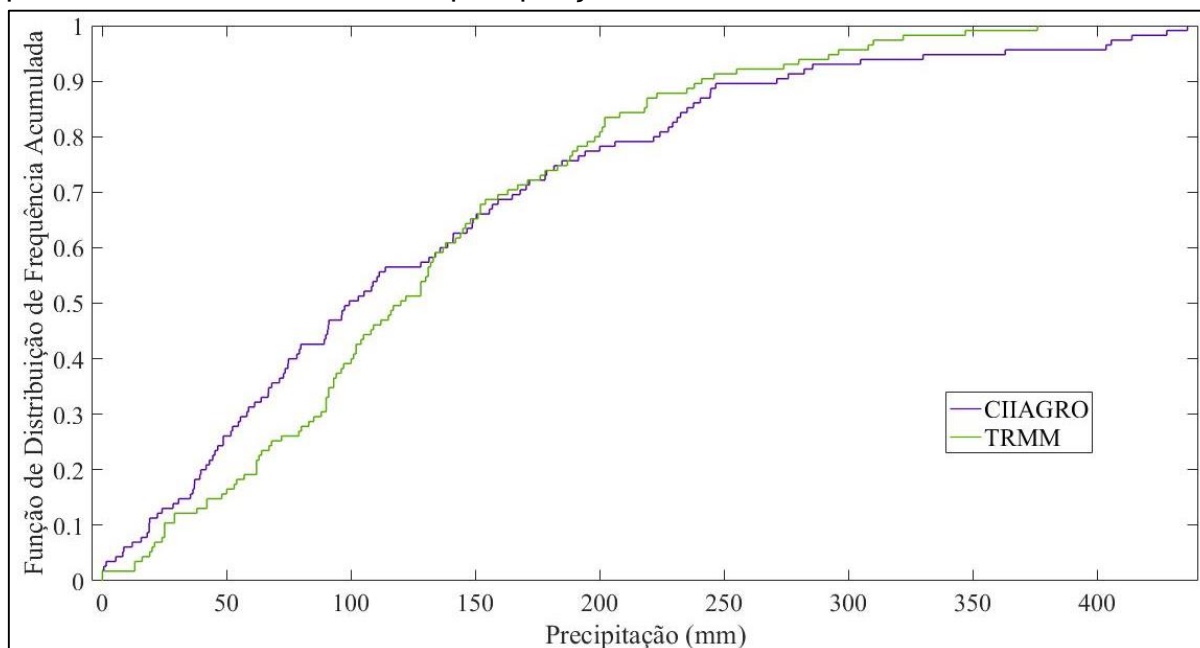
Na Figura 8 encontra-se o gráfico da curva de regressão linear, exibindo a distribuição dos dados, sendo possível perceber o adensamento dos pontos próximo a linha de tendência, assim como β e α significativos, sendo possível afirmar que os dados estão em concordância.

Figura 8 Curva de regressão linear entre o CIIAGRO e o TRMM para a variável precipitação, no período de 2004 a 2013.



Na Figura 9 é possível comprovar a boa correlação entre os dados analisados, exibindo as funções de distribuição de probabilidade dos conjuntos de dados. As curvas mostram que para valores baixos de precipitação o sensor Precipitation Radar a bordo do TRMM subestima os valores em relação a estação meteorológica e que para valores altos superestima os valores. Entre 130 e 180 mm a concordância entre os valores é maior.

Figura 9. Funções Empíricas de Distribuição de Probabilidade (FEDP) calculadas a partir dos dados analisados de precipitação.



Os resultados concordam com os obtidos por Diaz et al. (2015) trabalhando com as precipitações estimadas, pelo TRMM, e observadas para a bacia do Rio Una, em Pernambuco; por Silva et al. (2014) trabalhando com imagens do referido satélite para quantificar o regime de chuvas no bioma Pantanal; por Leivas et al. (2009) trabalhando em Manaus com precipitações observadas e estimadas pelo mesmo satélite; e por Silva-Fuzzo et al. (2015) trabalhando com modelagem agrometeorológica para estimar a produção de soja no Médio Paranapanema; no entanto, discordam os resultados obtidos por Kurek et al. (2015) trabalhando com a relação entre a estimativa do satélite e as vazões da sub-bacia do rio Guaporé no Rio Grande do Sul.

Camparotto et al. (2013) observaram uma boa correlação entre os dados analisados do satélite TRMM e observados na superfície de áreas tropicais e subtropicais, considerando-os bem consistentes. Collischonn et al. (2007), Karaseva et al. (2011) e Lin et al. (2012) concordam que as estimativas de precipitação do TRMM são consistentes com os valores observados nas estações meteorológicas, no entanto, ressaltam que ainda existem erros de estimativas e uma possível justificativa seria a área de abrangência do TRMM (25 x 25 km), enquanto que a estação coleta os dados pontualmente.

4.1.2 Avaliação dos dados obtidos em estações climatológicas e pelo sensor MODIS (MOD16)

Na Tabela 6 pode-se observar uma comparação entre os parâmetros relacionados à estatística básica (\bar{x} , σ e \tilde{x}) para entre o CIIAGRO e o MODIS (MOD16), exibindo valores relativamente parecidos. Os demais parâmetros mostram que existe uma correlação entre os dados analisados.

Tabela 6. Parâmetros estatísticos calculados para os dados da estação meteorológica (CIIAGRO) e do sensor MODIS (MOD16) (em mm) para a variável evapotranspiração, no período de 2004 a 2013

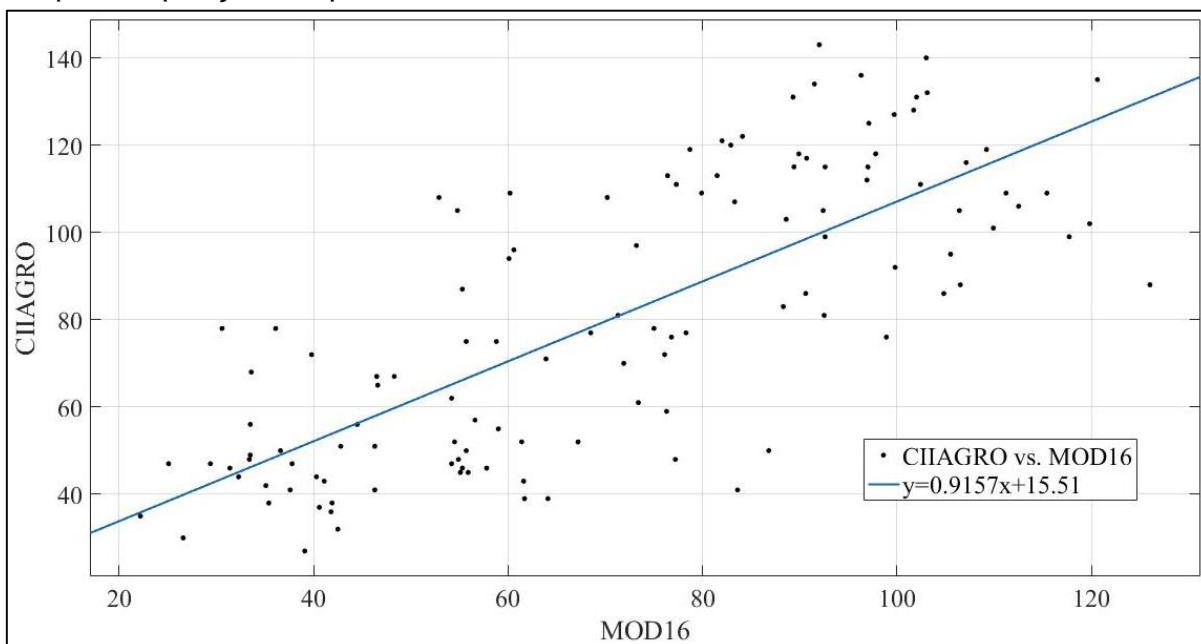
Parâmetro	MOD16	CIIAGRO
Média (\bar{x})	70,69	80,25
Desvio padrão (σ)	26,42	31,95
Mediana (\tilde{x})	71,60	77,50
Coefficiente de Pearson (ρ)		0,7572
Coefficiente de determinação (R^2)		0,5734
Variável da equação (B)		0,9157
Variável da equação (α)		15,5100
Kolmogorov-Smirnov calculado (D)		0,1018
Kolmogorov-Smirnov tabelado D_T		1,3581

Os dados apresentam um coeficiente de correlação de Pearson (ρ) de 75%, e segundo Sousa (2012) e Callegari-Jacques (2003) representam uma correlação linear moderada positiva.

Com o teste de Kolmogorov-Smirnov obteve-se $D < D_T$ que indica H_0 como a hipótese aceita, ou seja, as amostras pertencem a uma população de mesma distribuição.

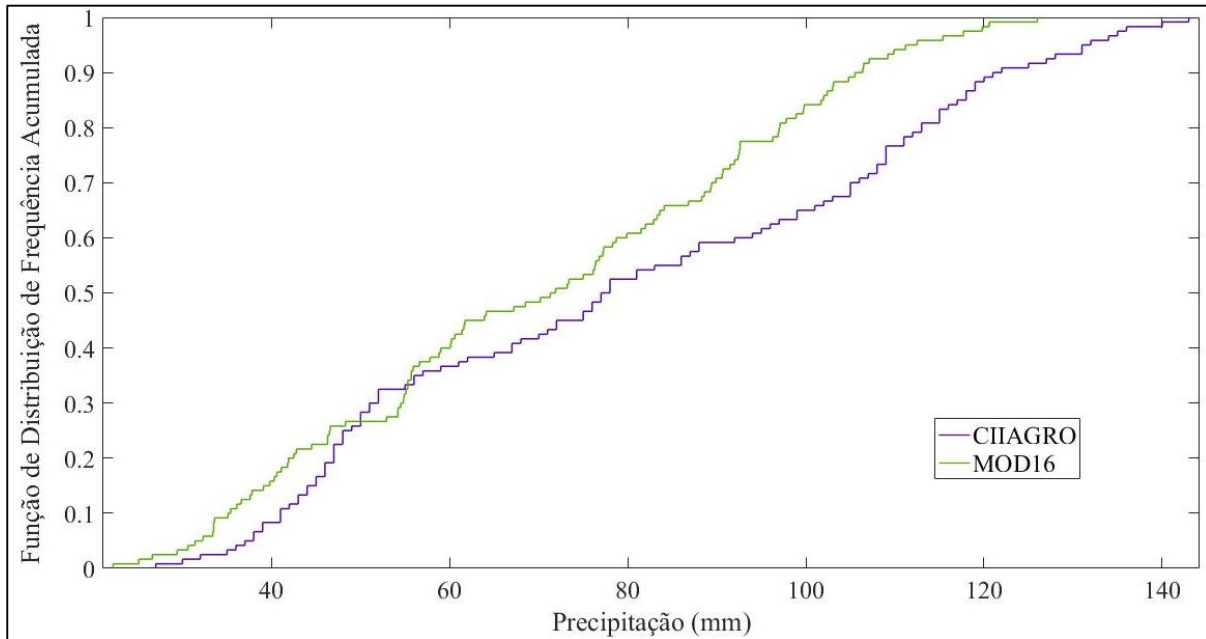
A curva de regressão linear é apresentada na Figura 10, esta exhibe a dispersão dos dados, também apresentando β e α significativos, também é notável um maior espaçamento entre os pontos e a linha de tendência.

Figura 10. Curva de regressão linear entre o CIIAGRO e o MOD16 para a variável evapotranspiração, no período de 2004 a 2013.



Na Figura 11 comprova-se a correlação moderada entre os dados analisados, exibindo as funções de distribuição de probabilidade dos conjuntos de dados. De maneira geral, os valores calculados pelo sensor MODIS superestimam os valores de evapotranspiração quando comparados com a estação meteorológica. Entretanto, há de se ressaltar que esses valores de evapotranspiração calculados pela estação baseiam-se no método de Camargo (1962) que utiliza apenas temperatura e a latitude local para realizar os cálculos, o que simplifica muito as estimativas.

Figura 11. Funções Empíricas de Distribuição de Probabilidade (FEDP) calculadas a partir dos dados analisados de evapotranspiração.



Com os resultados obtidos corroboram com Oliveira e Baptista (2011) que trabalhando para validar a estimativa da evapotranspiração no Piauí, utilizando o modelo de Nagler et al. (2005), constataram que os dados calculados se correlacionam com os dados obtidos na estação meteorológica, mesmo com coeficiente de determinação de 0,39. Nagler et al. (2005) trabalhando no Novo México, Estados Unidos, num meio árido, constataram que os dados do MODIS representam melhor a ET para uma área de 1 Km², já os dados das estações meteorológicas são precisos. Filgueiras et al. (2013) trabalhando com estimativa de evapotranspiração utilizando o sensor MODIS para a região norte de Minas Gerais também obtiveram resultados que evidenciaram o potencial deste sensor para aquisição dos valores desse parâmetro de forma regionalizada. Moraes e Oliveira (2015) constataram significativa deficiência desse tipo de informação, prejudicando análises que utilizem a mesma.

Os resultados demonstram que os dados adquiridos pelo sensor Precipitation Radar, a bordo do satélite TRMM, e pelo sensor MODIS (MOD16), a bordo dos satélites Terra e Aqua, oferecem uma boa concordância com dados de superfície, sendo suas diferenças aceitáveis para fins de planejamento de terras para irrigação e controle da drenagem em áreas agrícolas. Para práticas específicas de manejo, como aplicações de lâminas de irrigação, há de se ter cautela para

adoção de certos dados, levando em consideração o tipo de regime pluviométrico, condições climáticas e tamanho da propriedade.

4.2 DETALHAMENTO FÍSICO DA ÁREA

A Figura 12 exibe uma composição RGB (ou composição de cor natural), com as bandas 4, 3 e 2, foi confeccionada com o intuito de facilitar a identificação das principais feições encontradas na área de estudo e em seu entorno, entre elas estão: perímetros irrigados, solo exposto, edificações e vegetação.

Figura 12. Composição RGB da área de estudo e seu entorno.

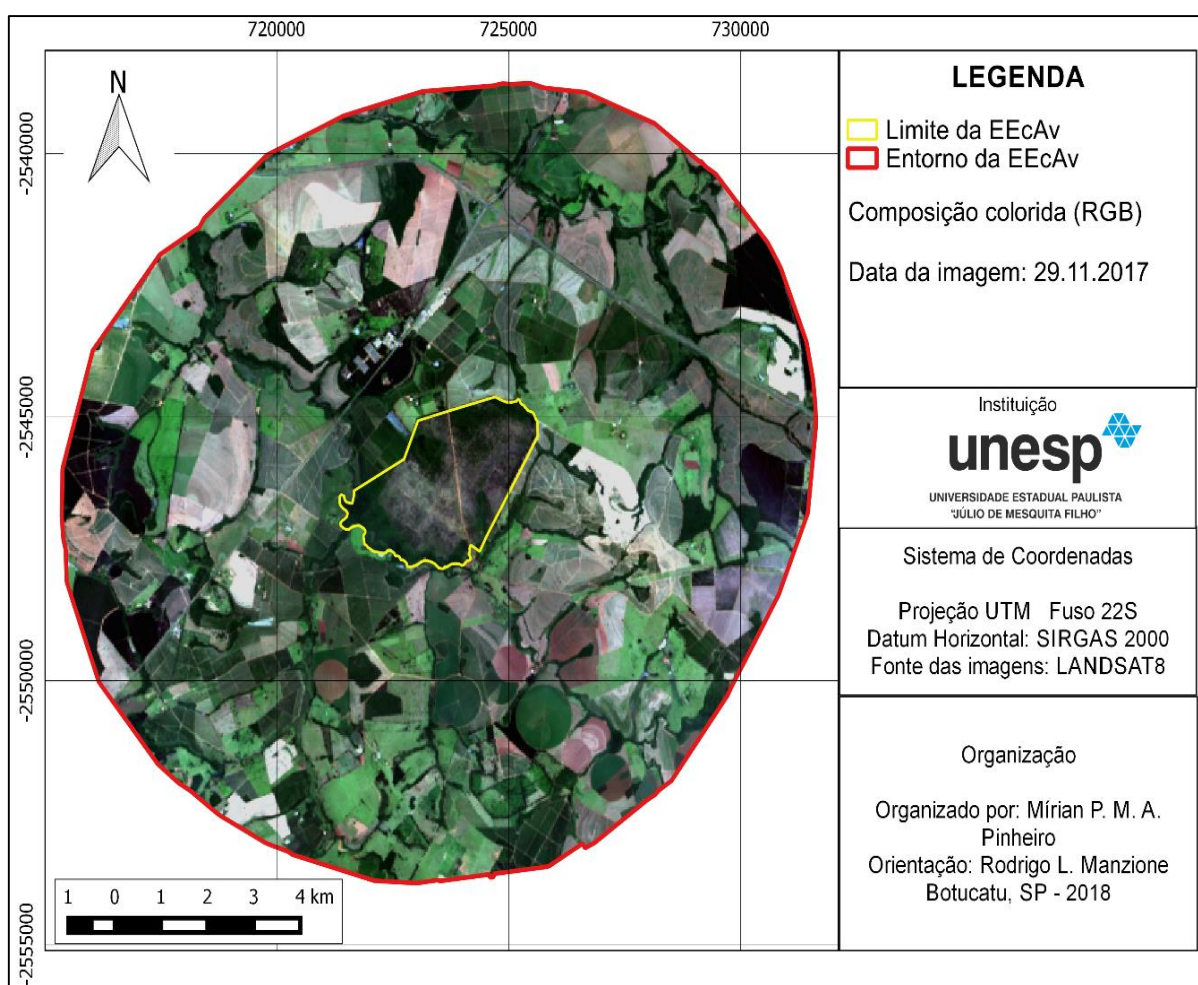
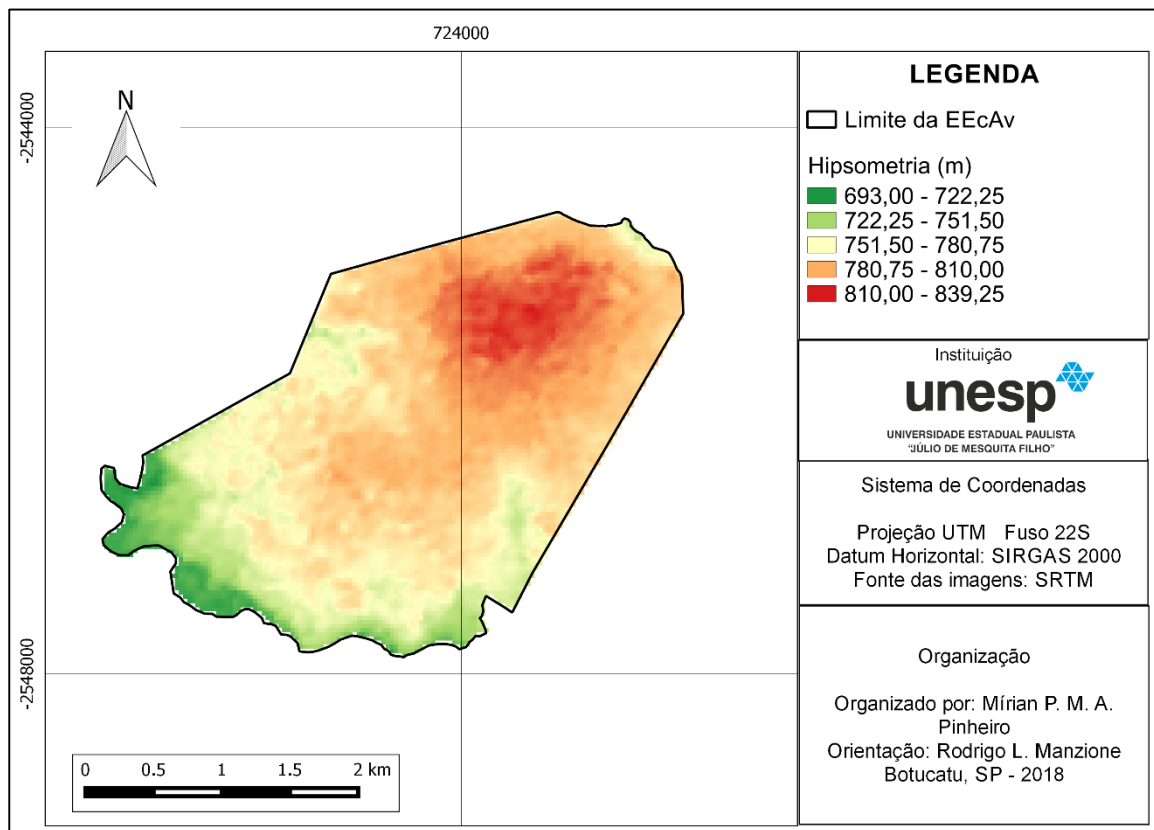


Figura 13. Mapa hipsométrico, elaborado a partir do SRTM.

4.2.1 Relevo

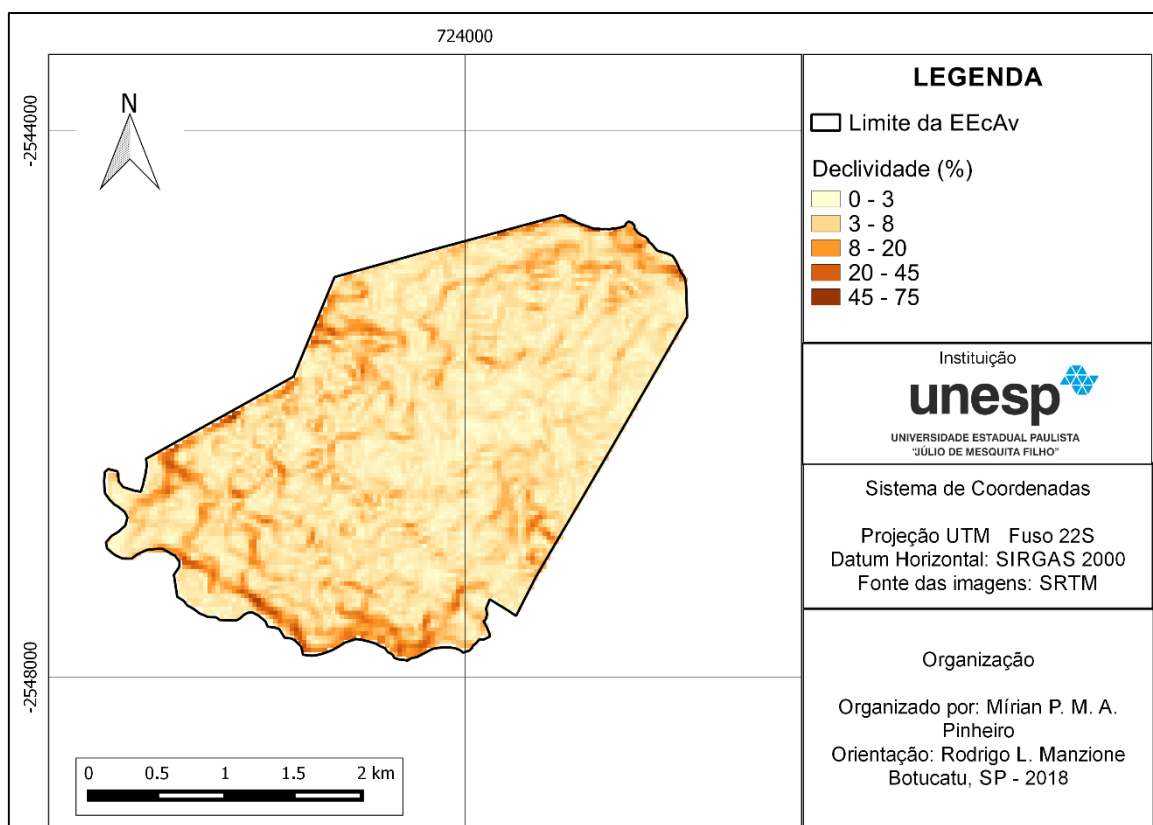
As classes de declividade geradas nesse tópico foram reclassificadas em seis intervalos distintos sugeridos pela EMBRAPA (1979).

Tabela 7. Classificação da declividade, de acordo com EMBRAPA (1979)

Declividade	Descrição
0 a 3 %	Relevo plano
3 a 8 %	Relevo suave ondulado
8 a 20 %	Relevo ondulado
20 a 45%	Relevo forte ondulado
45 a 75 %	Relevo montanhoso
> 75 %	Relevo escarpado

Observando as declividades apresentadas na Figura 14, é possível afirmar que a maioria da área da EEcAv apresenta declive plano e suave ondulado e não possui os relevos montanhoso e escarpado.

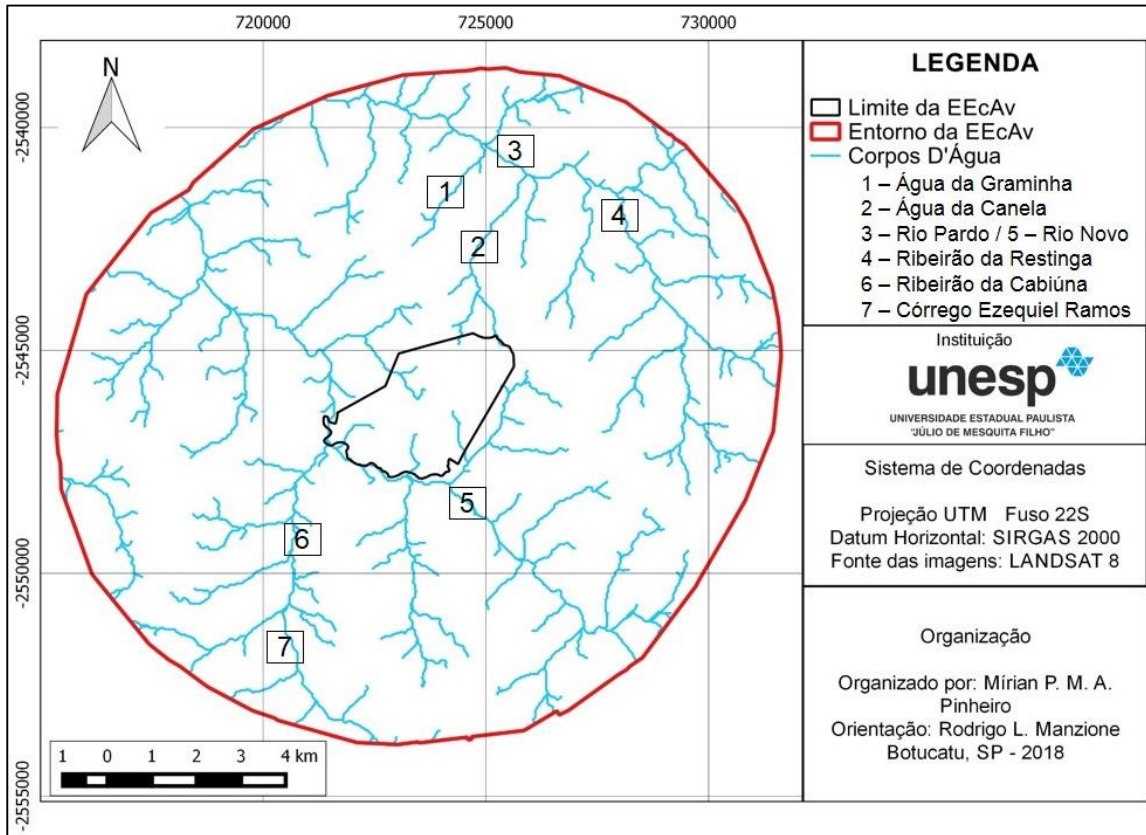
Figura 14. Mapa clinográfico, elaborado a partir do SRTM



4.2.2 Hidrografia

Para facilitar uma melhor compreensão do comportamento do fluxo da área, foi desenvolvido, a partir do SRTM e através da drenagem numérica, o mapa da hidrografia da área de estudo (Figura 15).

Figura 15. Hidrografia da EEcAv e seu entorno.



4.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

Foram utilizadas duas imagens do satélite Landsat 8, uma do período seco (25/06/2014) e uma do período chuvoso (29/11/2017), para analisar o comportamento da paisagem da EEcAv e seu entorno. E a precipitação para cada período foi: 3,7 mm (junho/2014) e 224,5 mm (novembro/2017) (CIIAGRO, 2018).

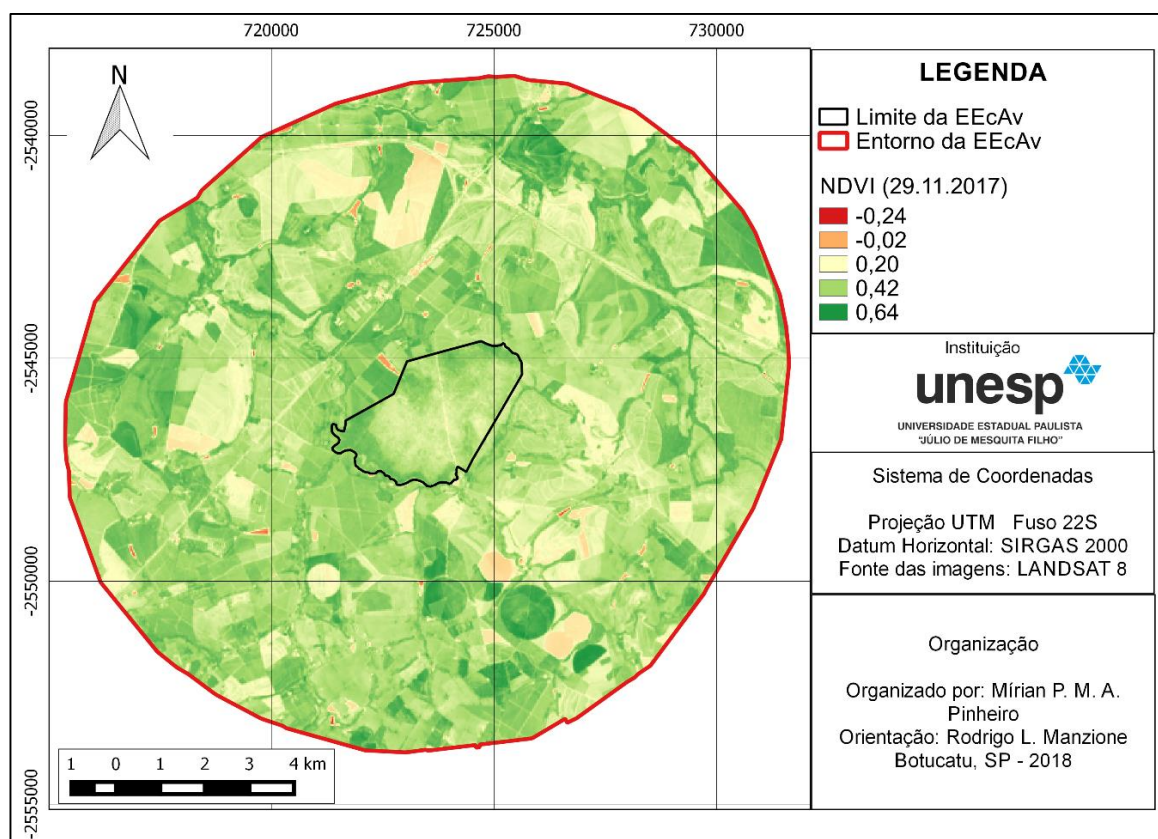
A partir da álgebra de mapas, no programa QGIS, utilizando as bandas citadas anteriormente para cada IV, foi possível realizar análises visuais da área de estudo e seu entorno.

4.3.1 NDVI

As Figuras 16 e 17 exibem os mapas de NDVI para os períodos chuvoso (29/11/2017) e seco (25/06/2014), respectivamente. E a Figura 18 exhibe a diferença espectral entre os períodos chuvoso e seco, mas somente para a área da EECav. Na Figura 16, é apresentado o mapa de NDVI referente ao período chuvoso.

Observando a área limite da EECav, é possível perceber que a maior concentração de atividade fotossintética está localizada nas regiões do extremo norte, noroeste e sul da estação, enquanto a região central apresenta uma menor presença de atividade fotossintética, e conseqüentemente, uma maior exposição do solo, com valores variando entre 0,42 e 0,64, valores similares são encontrados por Albuquerque et al. (2014) e Boratto; Gomide (2013), durante o período chuvoso tanto em Souza (PB), quanto na região norte de MG, respectivamente. A região do entorno da EECav possui áreas cultivadas, que fazem uso da irrigação, e toda essa área apresenta um comportamento espectral similar a EECav, e possui valores que variam entre -0,24 e 0,64.

Figura 16. NDVI no período chuvoso, 29/11/2017.



Na Figura 17, é apresentado o mapa de NDVI referente ao período seco. É notável a diferença entre os mapas dos períodos chuvoso e seco. A região do entorno e a EECav, novamente, apresentam comportamentos similares, com predominância de valores entre 0,04 e 0,38, com exceção de algumas áreas, que provavelmente sejam irrigadas, que apresentam um IV de 0,54. Valores de NDVI semelhantes foram calculados por Boratto & Gomide (2013) trabalhando com NDVI, no período seco, na região norte de MG.

Baixos valores de NDVI, indicam baixo vigor vegetativo, provocado pela ausência ou pouca presença de vegetação clorofilada, também são apresentados em trabalhos realizados por Silva et al. (2009).

Em determinadas regiões, o elevado estresse hídrico sofrido pela vegetação está diretamente relacionado aos baixos índices de vegetação (OLIVEIRA et al., 2013).

Figura 17. NDVI no período seco, 25/06/2014.

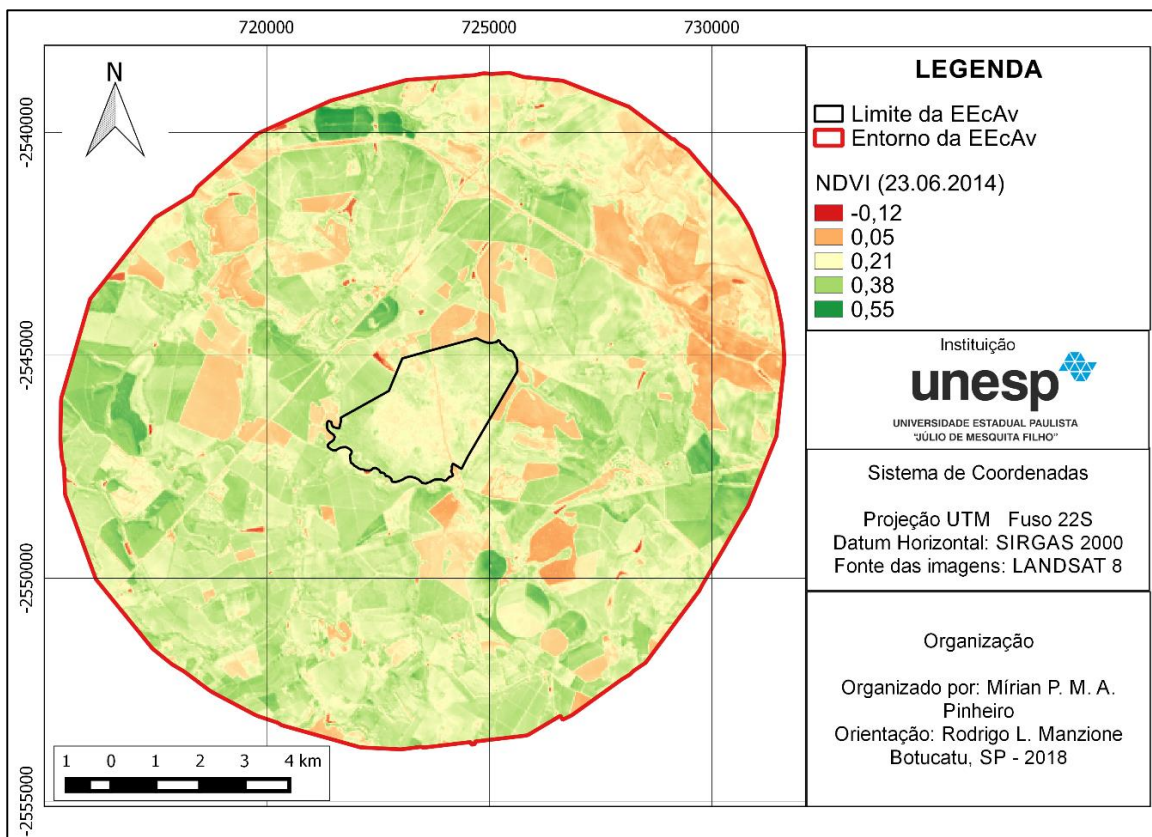
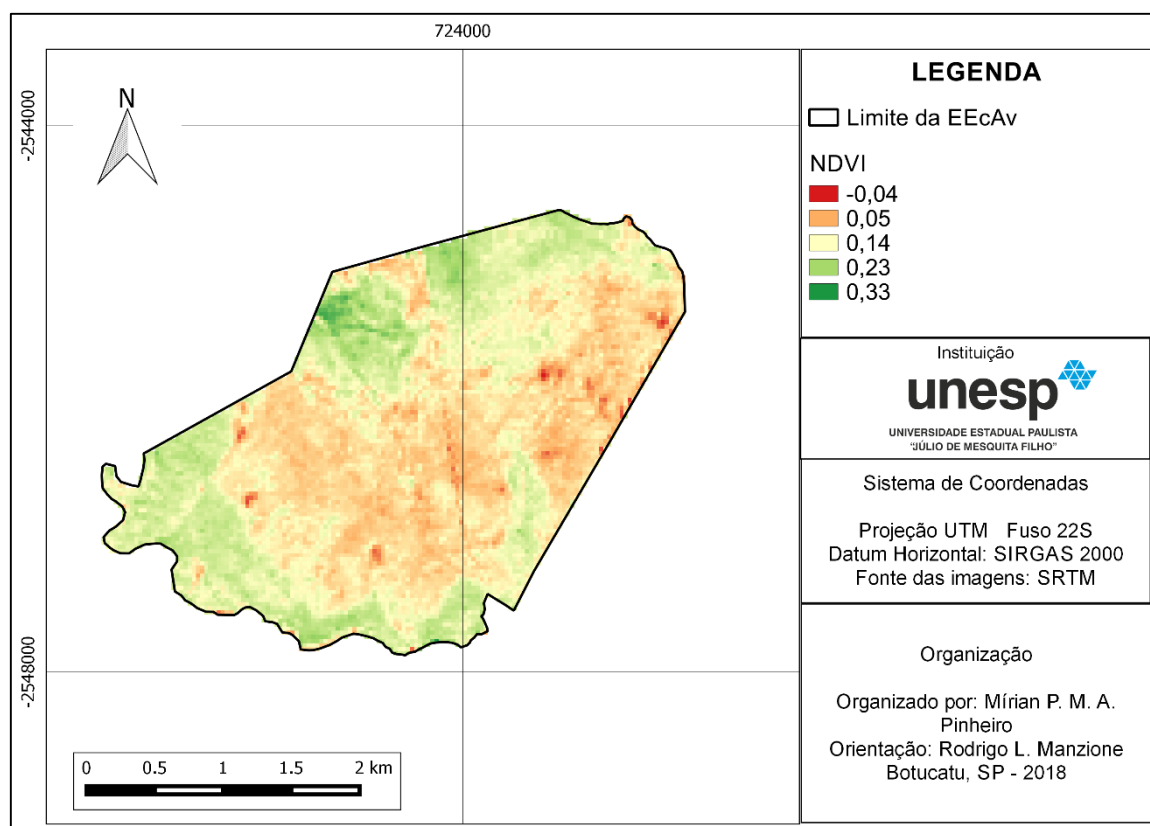


Figura 18. Diferença no comportamento espectral entre os períodos chuvoso e seco do NDVI, para a área da EEcAv.



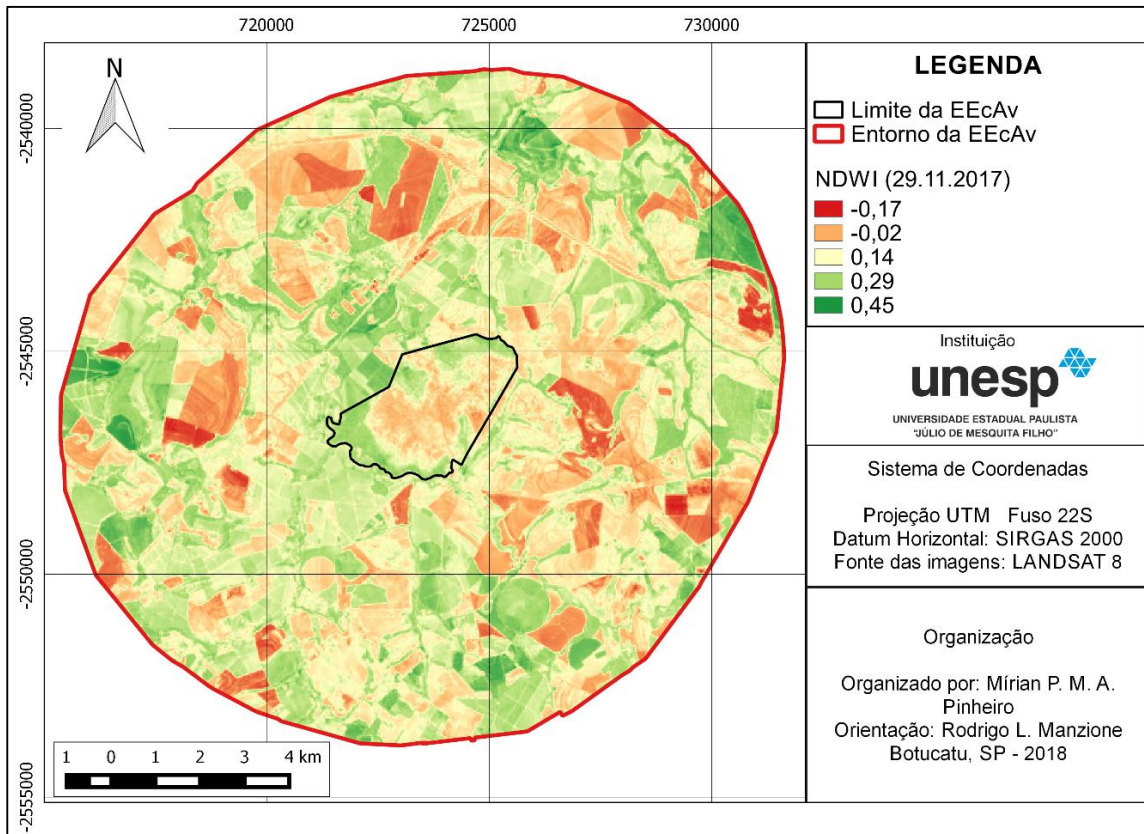
4.3.2 NDWI

As Figuras 19 e 20 exibem os mapas de NDWI para os períodos chuvoso (29/11/2017) e seco (25/06/2014), respectivamente. E a Figura 21 exhibe a diferença espectral entre os períodos chuvoso e seco, mas somente para a área da EEcAv.

Na Figura 19, é apresentado o mapa de NDWI referente ao período chuvoso. Analisando a área limite da EEcAv, é possível observar que os maiores teores de umidade (0,29 a 0,45) da cobertura vegetal está situada nas regiões do extremo norte, noroeste e sul da estação, enquanto na região central é perceptível baixos teores de umidade (-0,01 a 0,13). Esse comportamento pode ser justificado pela pouca presença de vegetação fotossinteticamente ativa. Albuquerque et al. (2014), trabalhando com o período chuvoso de 2009, em Souza (PB), encontrou valores semelhantes. Machado et al. (2014), encontrou valores superiores (0,6 a 0,8), trabalhando com a bacia hidrográfica do rio Cachoeirinha (MT) no período

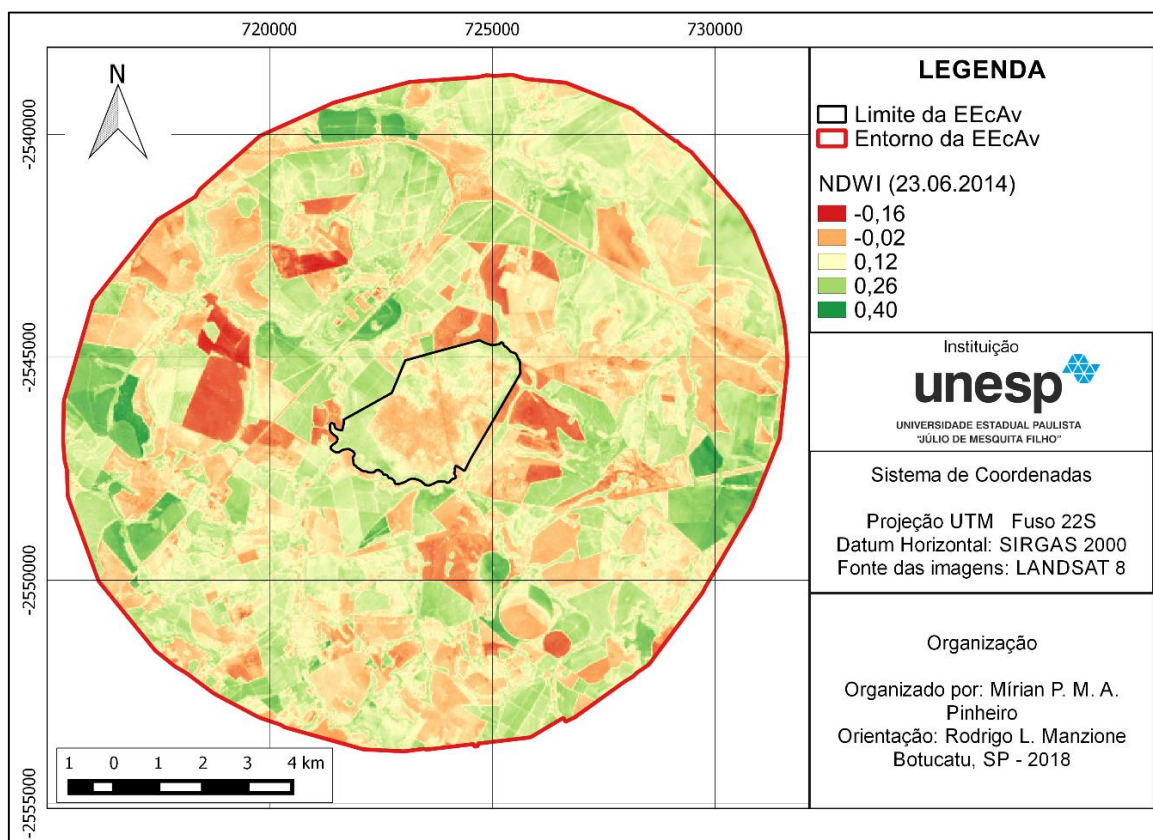
chuvoso. A região do entorno da EECav apresenta valores que variam de -0,17 a 0,45, e possui áreas cultivadas, que fazem uso da irrigação, na maioria dessas áreas também é possível perceber uma maior presença de umidade na cobertura vegetal.

Figura 19. NDWI no período chuvoso, 29/11/2017.



Na Figura 20, é apresentado o mapa de NDWI referente ao período seco. Analisando a área limite da EECav, é possível observar que os maiores teores de umidade (0,12 a 0,26) da cobertura vegetal está situada nas regiões do extremo norte, noroeste e sul da estação, enquanto na região central é perceptível baixo teor de umidade (-0,02). A região do entorno da EECav apresenta valores que variam de -0,16 a 0,40, e possui áreas cultivadas, que fazem uso da irrigação, em algumas dessas áreas também é possível perceber que houve a manutenção da umidade na cobertura vegetal. Machado et al. (2014), encontrou valores semelhantes (<0 a 0,4), trabalhando com a bacia hidrográfica do rio Cachoeirinha (MT) no período seco. Albuquerque et al. (2014), trabalhando com o período seco de 2009, em Souza (PB).

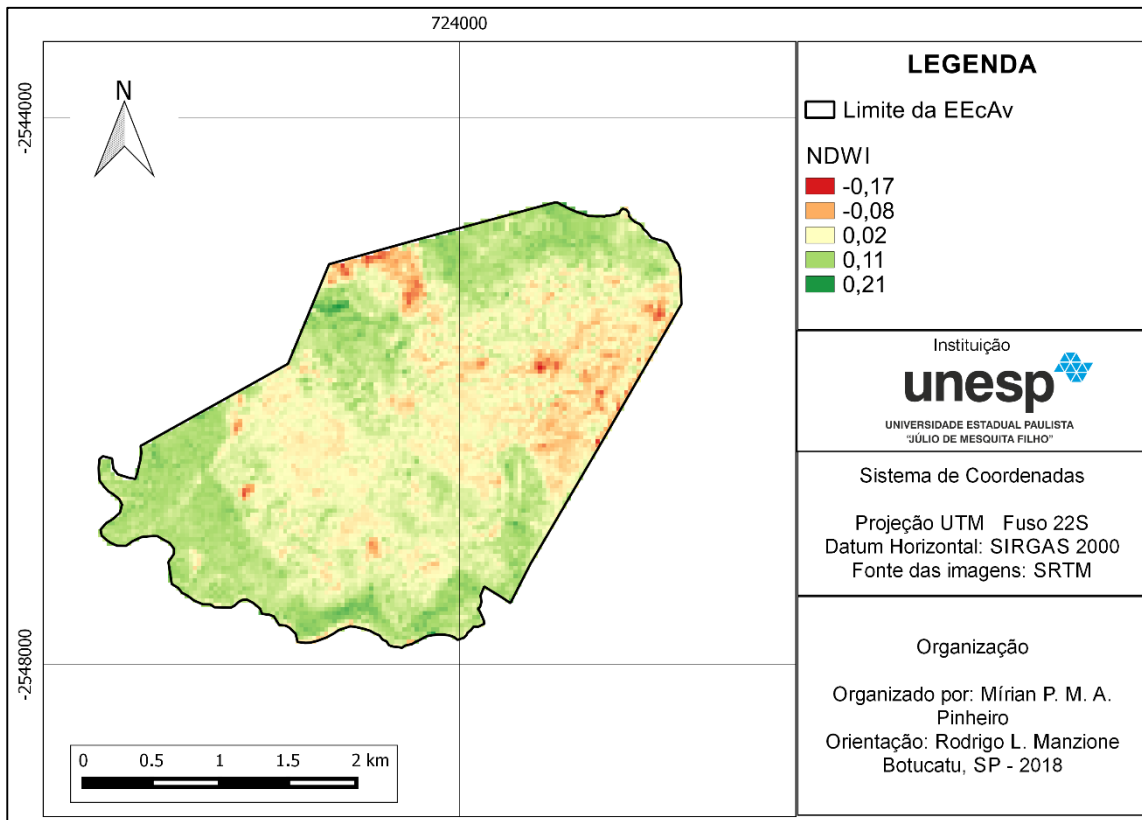
Figura 20. NDWI no período seco, 25/06/2014.



No mapa do período seco é evidente uma expressiva ausência de umidade, tanto sobre a cobertura vegetal como sobre o solo, sendo possivelmente explicada pela baixa precipitação mensal de 3,7mm, neste período.

Gonzaga et al. (2011) analisando a interação de NDVI e NDWI com o volume pluviométrico da região de Piranhas (AL), obtiveram resultados semelhantes do deste trabalho, na qual a vegetação e umidade estão diretamente relacionadas com a precipitação local.

Figura 21. Diferença no comportamento espectral entre os períodos chuvoso e seco do NDWI, para a área da EEcAv.



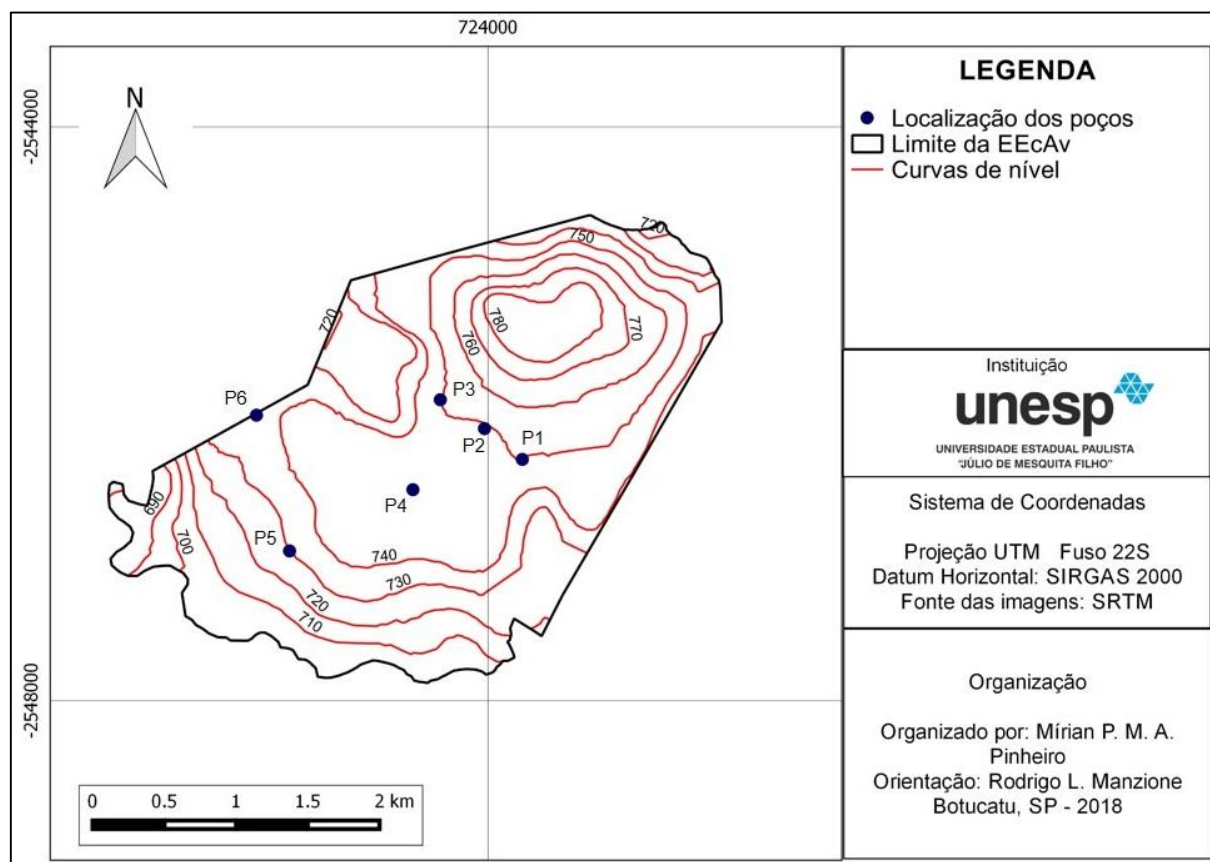
4.4 MODELAGEM DO FLUXO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS NA EEcAv

4.4.1 Mapas De Fluxo

Devido a problemas técnicos (mal funcionamento) nos sensores (piezômetros), que resultou na perda de vários dados, foram realizadas somente duas coletas, uma em 25/06/2014 e outra em 11/12/2017. Foram perfurados seis poços na área da EEcAv, todos a uma profundidade de 30 metros.

Para melhorar a compreensão da distribuição dos poços na área um mapa de distribuição dos poços (Figura 22) foi elaborado, para o mesmo utilizou-se as coordenadas de cada poço e o SRTM.

Figura 22. Distribuição dos poços na EEcAv.



4.4.1.1 Direção de Fluxo

Analisando os dois mapas de direção de fluxo, é perceptível que não houve alterações na direção do fluxo subterrâneo durante o período de coletas. Também pode ser observado comportamentos bem semelhantes, nas regiões norte e sul da área de estudo. Ao norte, é possível perceber que há uma distribuição do fluxo, tanto para fora quanto da dentro da EEcAv. Ao sul, que o fluxo é direcionado para onde está localizado o Rio Novo.

Na parte norte da estação tem um morro com, aproximadamente, 803 metros acima do nível do mar, esse morro pode ser considerado um “divisor de águas” dentro da área de estudo. A área da EEcAv é circundada pelo Córrego Água da Canela e pelo Rio Pardo.

Usando essa elevação como ponto de referência, o fluxo flui em todas as direções, o fluxo que segue para o norte deságua no pelo Córrego Água da Canela, já o fluxo que segue para o sul é distribuído seguindo a declividade da área e parte dessa distribuição deságua no Rio Novo que corre ao longo de toda a região sul da EECav. As Figuras 23 e 24 exibem os mapas correspondente as direções do fluxo para cada coleta realizada.

Figura 23. Direção do fluxo no dia 25/06/2014.

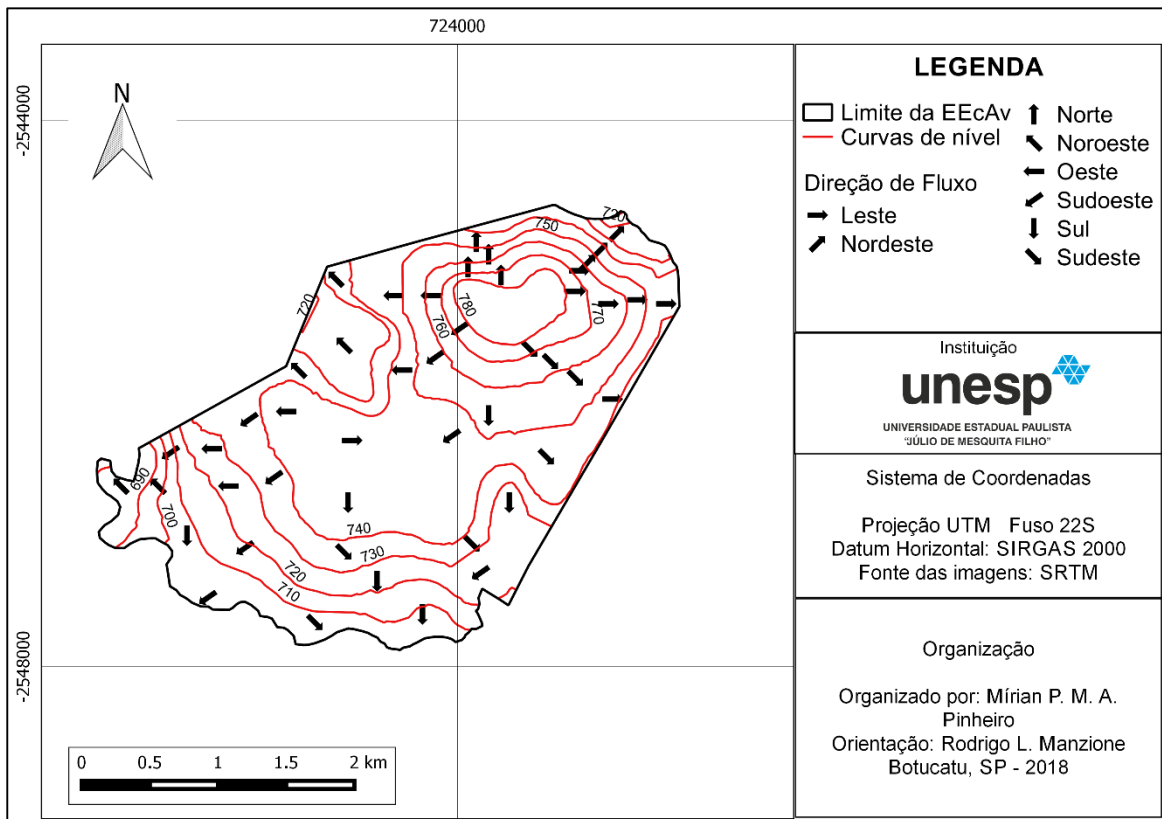
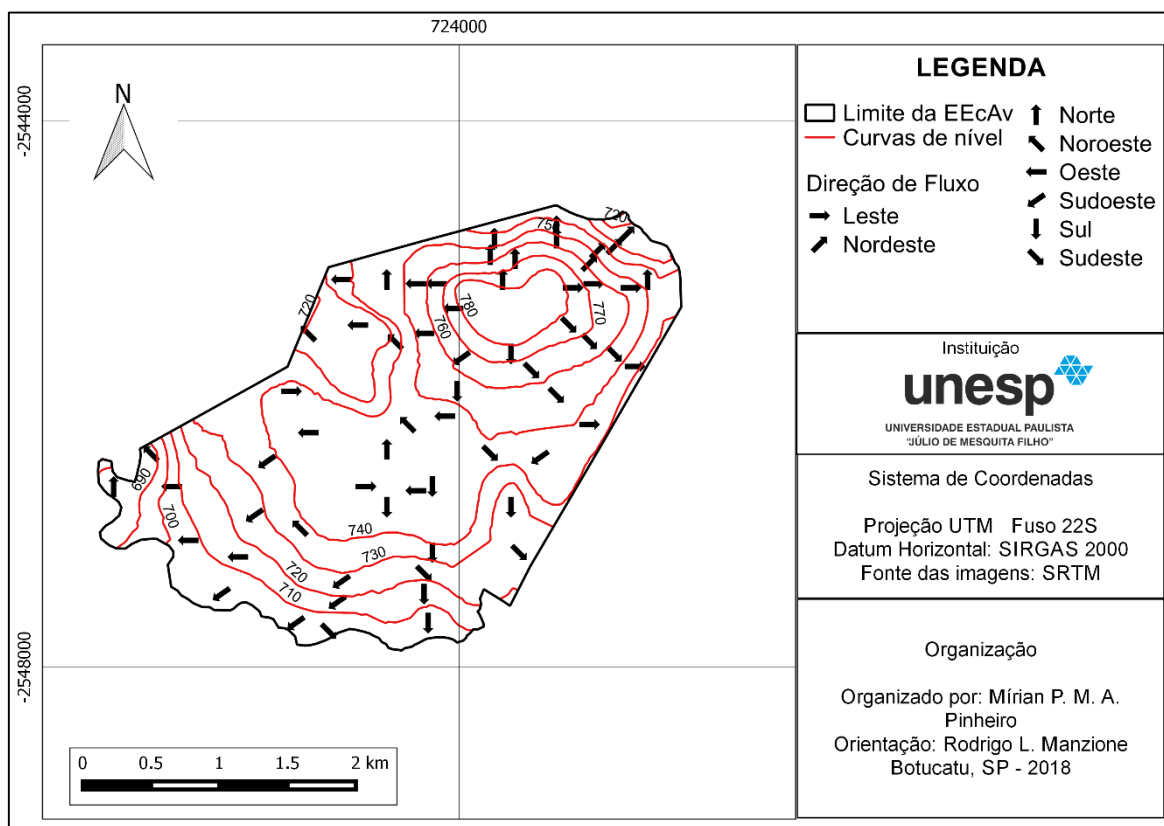


Figura 24. Direção do fluxo no dia 11/12/2017.



Santarosa (2016) trabalhando com estimativa da direção dos fluxos subterrâneos na Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB), notou alterações nos níveis piezométricos entre as duas coletas. É perceptível pelas Figuras 25 e 26 que os níveis de todos os poços aumentou, sendo possível deduzir que houve uma elevação no nível freático neste período.

Nessas figuras também é possível inferir, pelo nível potenciométrico do poço 6, especialmente, que trata-se de um aquífero com nível hídrico superficial. Safre (2018) também trabalhando com níveis potenciométricos na EEcSB observou um comportamento semelhante do aquífero para sua área de estudo.

Figura 25. Níveis potenciométricos no dia 25/06/2014.

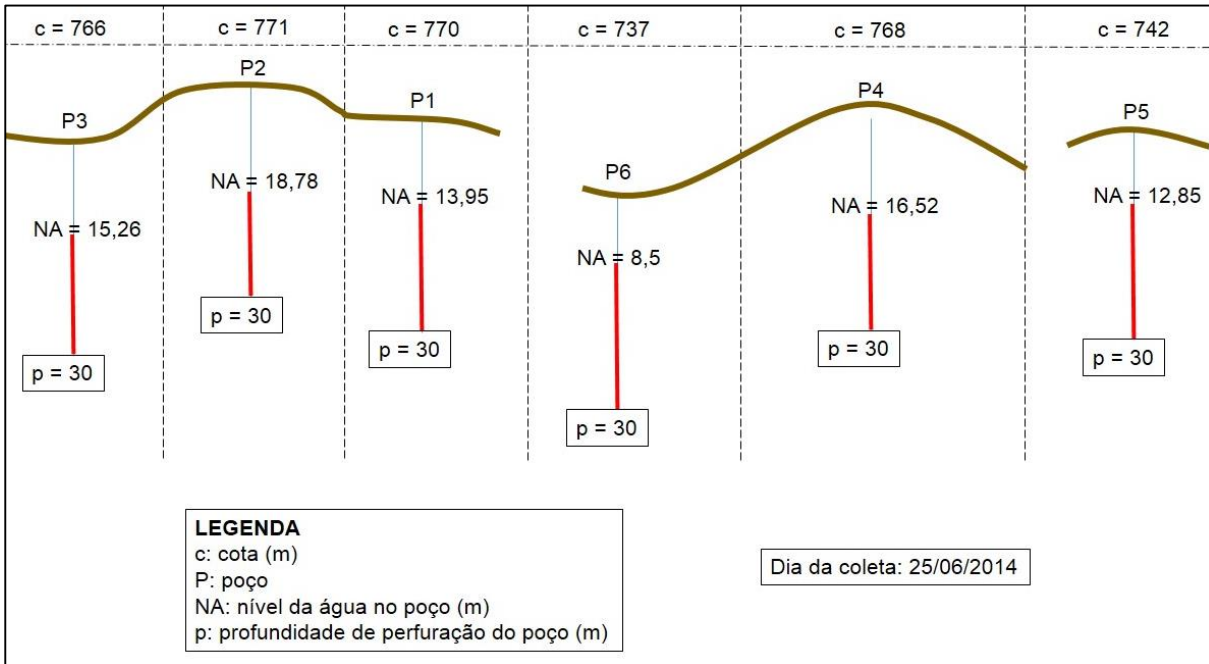
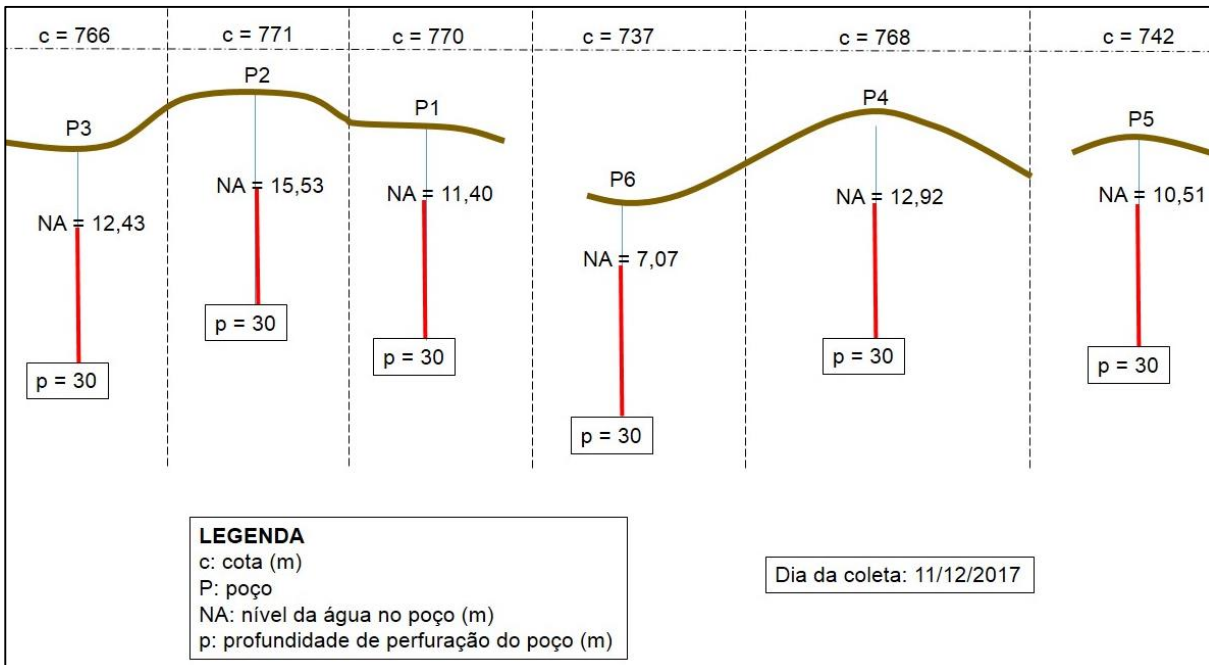


Figura 26. Níveis potenciométricos no dia 11/12/2017.

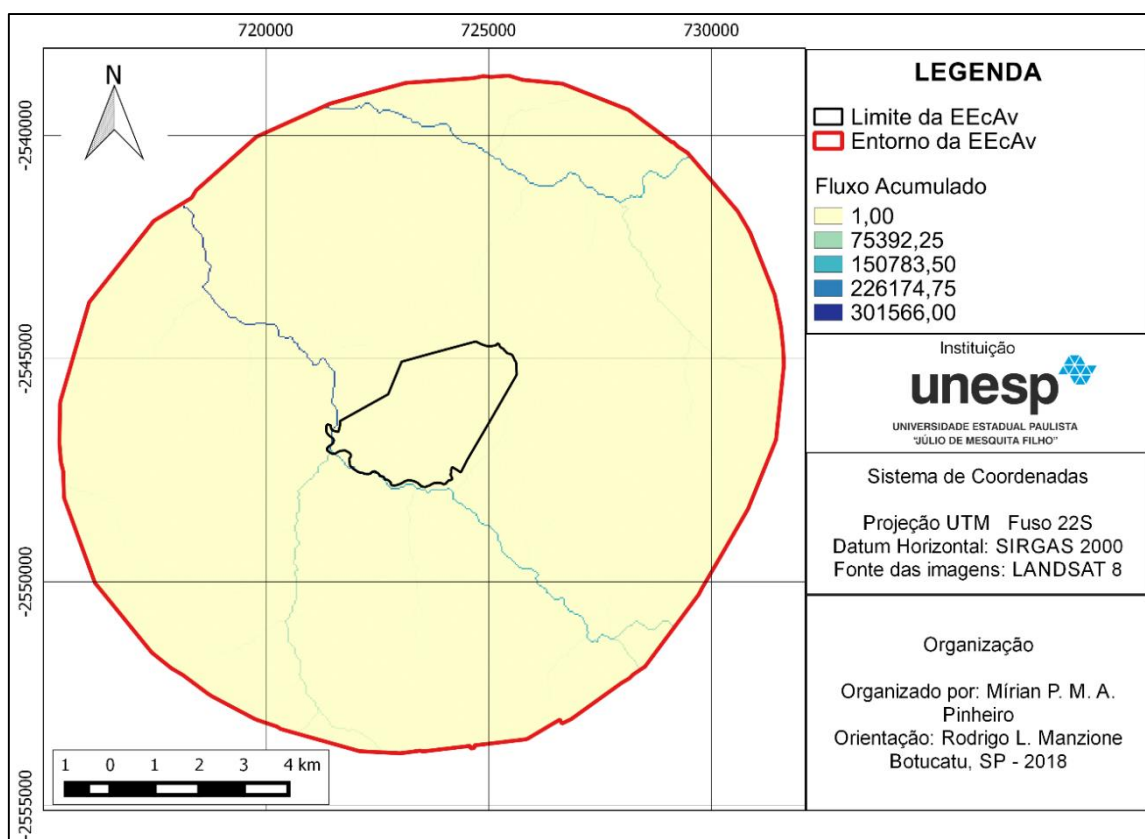


4.4.1.2 Fluxo Acumulado

O fluxo acumulado é obtido através da somatória da área (quantidade) de células presente na área de escoamento (direção do fluxo) (SOBRINHO et al., 2010). Segundo Tucci (1997), a área de captação é considerada uma área de agrupamento hídrico natural das chuvas, na qual o fluxo do escoamento superficial é direcionado a um único ponto de saída, o exutório. Assim, uma sub-bacia é composta pela rede de drenagem do rio principal e por várias superfícies (vertentes) (MELLEK, 2012).

Após a elaboração do mapa de direção do fluxo, foi elaborado o mapa com o fluxo acumulado, que indica os locais preferenciais onde o fluxo se concentra. Na Figura 27 é possível observar que, o fluxo acumulado presente na área selecionada (área de estudo + entorno) está direcionado para o Rio Novo, ao sul (parte inferior do mapa), e para o Rio Pardo, ao norte (parte superior do mapa).

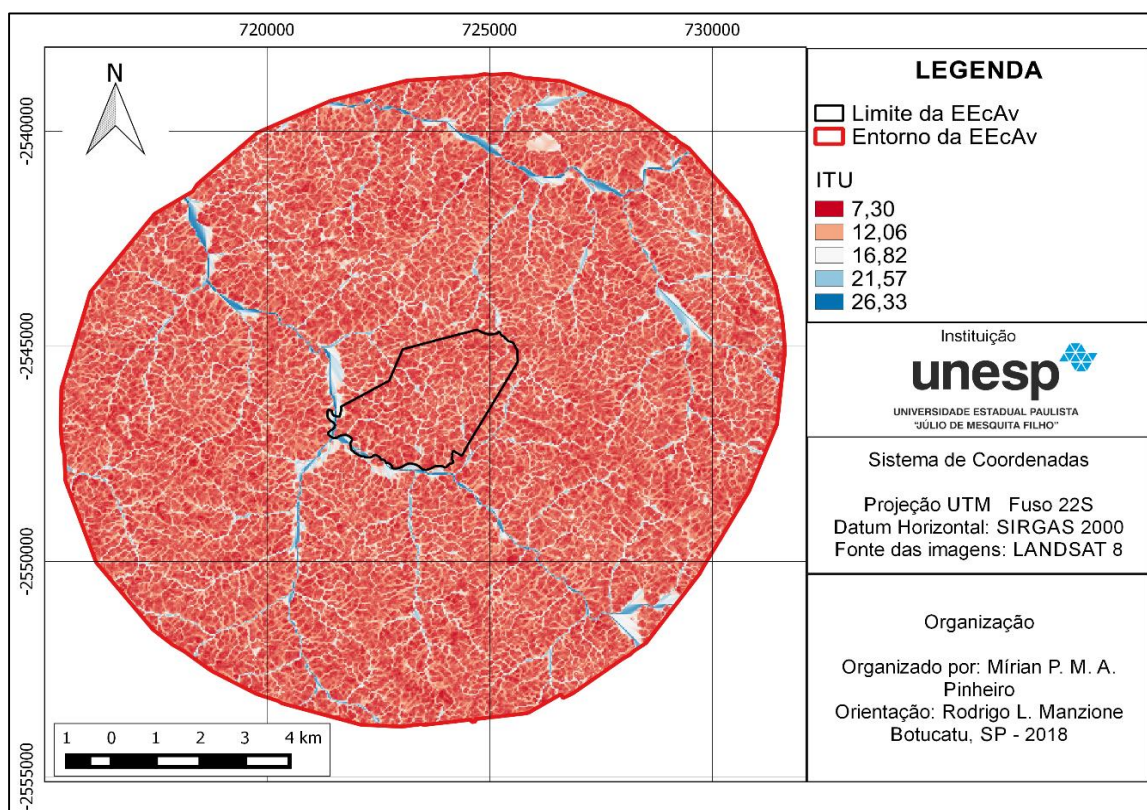
Figura 27. Fluxo Acumulado da EECav e seu entorno.



4.4.1.3 Índice Topográfico de Umidade (ITU)

A Figura 28 apresenta o mapa do ITU da área de estudo e seu entorno. Podemos observar um comportamento bem parecido com o mapa de Fluxo Acumulado. Na figura percebemos que os valores variam de 7 a 26, sendo 7 o local com menor umidade e 26 o local com maior umidade. As linhas azuis mais espessas ao norte e ao sul do mapa, são os rios Pardo e Novo. Capoane et al. (2015) trabalhando com ITU numa bacia hidrográfica no RS, constatou que um MDT gerado a partir de carta topográfica apresenta resultados inadequados para indicar áreas com maior probabilidade de saturação hídrica no solo, pois possui limitações de precisão posicional e vertical. Oliveira et al. (2012) observaram que o índice topográfico de umidade e a declividade foram características do relevo que obtiveram maior correlação com outros atributos avaliados do solo, um exemplo é o teor de matéria orgânica. De acordo com Gallant e Wilson (2000), a velocidade do fluxo superficial da água, o teor de água no solo e o potencial de erodibilidade são afetada diretamente pela declividade.

Figura 28. Índice Topográfico de Umidade da EEcAv e seu entorno.



4.5 VOLUME EXPLORÁVEL DO AQUÍFERO E CONTRIBUIÇÃO HÍDRICA LOCAL

As reservas de águas subterrâneas podem ser consideradas como o volume armazenado passível de mobilização, invariável em situação de equilíbrio natural, isto é, não renovável, sem participar, portanto, da vazão de escoamento natural produzida pela recarga (MANZIONE, 2015). No caso de aquíferos livres e em franca comunicação com as águas superficiais e meteóricas, as reservas de saturação constituem o volume de água subterrânea armazenado abaixo da posição mínima do nível freático (FEITOSA et al., 2008).

Considerando as alturas do nível freático mapeadas para o dia 25/06/2014 e a cota da formação Serra Geral que aflora próxima às drenagens circundantes da EEcAv, estimou-se a camada saturada da formação Marília nos limites da área de estudo, considerando a porosidade específica proposto em DAEE (2005). Assim, determinou-se o volume total de água armazenado na ocasião e determinou-se como volume explorável do aquífero para a região o valor de 20% das reservas. Explorando 20% das reservas, espera-se não estar afetando outras funções do aquífero como a manutenção dos ecossistemas dependentes e fluxo de base dos rios e nascentes da região. O valor equivalente a 20% do volume total retido sob os 720 ha da área da EEcAv no período foi de 17.812.166,4 m³ (ou 17.812.166.400 litros).

Com os resultados obtidos, é possível afirmar que, a área possui um volume subterrâneo capaz de irrigar um pouco mais de 3 mil hectares para cada uma das culturas citadas anteriormente, conforme a Tabela 8.

Tabela 8. Evapotranspiração diária, duração do ciclo, demanda hídrica para cada cultura e número de hectares cultivados com o volume explorável existente sob a EEcAv

Cultura	Evapotranspiração diária (mm)	Duração do ciclo (dias)	Demanda hídrica para 1 ha (mm)	Número de hectares
Milho	5	110	5.500.000	3.238,6
Soja	3,7	130	4.810.000	3.703,1
Laranja	1,2	377	4.524.000	3.937,3

As culturas escolhidas (milho, soja e laranja) são as que mais se destacam na região, mas o exercício poderia ser feito para qualquer cultura considerando sua demanda hídrica. Obviamente não imagina-se utilizar toda essa água para fins de irrigação ou transferência dela para outras bacias. Apenas demonstra-se que áreas como a EEcAv tem uma importância hídrica estratégica para regiões onde a agricultura é a principal atividade econômica, geradora de empregos e renda. Agricultura e meio ambiente possuem uma ligação intrínseca que não pode ser dissociada por interesses políticos e/ou econômicos, já que a interdependência é explícita. Não se produz sem água e não é possível atingir elevadas produtividades em ambientes poluídos, degradados e desequilibrados do ponto de vista ambiental. Além de ser refúgio para polinizadores, por exemplo, áreas de preservação e de proteção ambiental preservam recursos hídricos para momentos de escassez ou mesmo suporta ecossistemas durante ciclos sazonais.

Em um raciocínio semelhante, Santarosa e Manzione (2018) geraram mapas estimando volumes de água recuperados pelo lençol freático entre dois períodos distintos de monitoramento na Estação Ecológica de Santa Bárbara (EEcSB), em Águas de Santa Barbara/SP. Estes valores mostraram que 30% do volume recuperado seriam suficientes para suprir a demanda por água para uma população de 30 mil habitantes por até três meses, levantando a possibilidade de usar áreas como a EEcSB como suprimentos estratégicos na gestão de recarga artificial.

Os dados obtidos após a realização de todas as análises evidencia a importância ímpar dos aquíferos livres, usados tanto para o abastecimento urbano, quanto rural. No entanto, é fundamental lembrar que o recurso hídrico subterrâneo é uma fonte de fornecimento que sofre alterações de nível mensalmente. O Sistema Aquífero Bauru possui alta qualidade e quantidade hídrica, sendo assim é importante introduzir estudos que forneçam informações para elaborar um plano gestor eficiente, capaz de reunir um banco de dados sobre as potencialidades locais.

Dessa forma, é imprescindível a aplicação de atividades conservacionistas, como a manutenção de áreas de conservação, a exemplo das estações ecológicas (como em Avaré, Assis, Paranapanema, Águas de Santa Bárbara), que são locais com aptidão para disponibilizar, naturalmente, volumes hídricos significativos que

contribuem indiretamente para atender as demandas populacionais, seja abastecimento urbano, industrial ou agrícola.

5 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos estima-se que, a área da Estação Ecológica de Avaré (EEcAv) possui um excelente potencial hidrológico subterrâneo que possibilita a manutenção da vegetação nativa e ainda pode fornecer água para as áreas circunvizinhas.

Assim, usando o sensoriamento remoto e as ferramentas corretas, foi possível estimar e descrever a realidade física e hidrológica da EEcAv, pois esse estudo possibilitou a obtenção de informações vitais sobre realidade hidrológica da região avaliada. Que foram:

- 1) Quanto aos dados climáticos, foi observado que o satélite TRMM apresentou dados bem similares, estatisticamente, aos dados da estação meteorológica, diferente do observado com os dados do sensor MODIS;
- 2) Quanto aos índices de vegetação, foi observado que durante o período chuvoso há uma maior atividade fotossinteticamente ativa e, confirma uma maior concentração de umidade na superfície das folhas; também foi observado que tanto o NDVI, quanto o NDWI apresentaram uma significativa diferença entre os períodos chuvoso e seco, evidenciando o efeito que a presença e ausência da água exerce sobre a vegetação, nativa ou cultivada;
- 3) Quanto aos mapas de fluxo, foi observado que os pontos com maior concentração de fluxo são os rios Novo e Pardo, que estão localizados, respectivamente, ao sul e ao norte da área de estudo, mostrando que a EEcAv está localizada entre corredores hídricos, reforçando sua importância ambiental;
- 4) Quanto ao volume explorável, sob a área da EEcAv, foi estimado um volume de quase 18 milhões de metros cúbicos, indicando seu potencial hidrológico local, que pode ser utilizado tanto para a agricultura, quanto para o abastecimento público. Lembrando que, esse volume é variável de acordo com a estação do ano e com o volume pluviométrico local.

Esse mesmo estudo ainda levantou a possibilidade de replicação de estudos similares em outras unidades de conservação em todo o estado. A aplicabilidade desse estudo permitiria o início de uma ação conjunta, entre outras

unidades de conservação, para auxiliar na preservação e manutenção, da qualidade e quantidade da água, dos corpos hídricos subterrâneos e superficiais do Estado de São Paulo.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, E. M. de. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. *Revista Estudos Geoambientais*; Rio Tinto; n. 01, v. 01; 2014.
- ALBUQUERQUE, E. M. de; ANDRADE, S. C. de P.; MORAIS, H. F. de; DINIZ, J. M. T.; SANTOS, C. A. C. dos. Análise do comportamento do NDVI e NDWI sob diferentes intensidades pluviométricas no município de Sousa-PB. **Revista Estudos Geoambientais**; Rio Tinto; v. 01; n. 01; 2014.
- AMORIM, J. R. A. de. Qualidade da água subterrânea e riscos para irrigação. **Portal do Agronegócio**. 2013. Disponível em <<http://www.portaldoagronegocio.com.br/artigo/qualidade-da-agua-subterranea-e-riscos-para-irrigacao>>, acesso em 15 jan 2018.
- ANA (Agência Nacional de Água). 2015. **Pagamento por serviços ambientais (Unidade 3)**. Disponível em <<https://capacitacao.ead.unesp.br/dspace/handle/ana/106>>, acesso em 30 nov 2017.
- ANA (Agência Nacional de Água). 2018. **Projetos**. Disponível em <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/programas-e-projetos/programa-produtor-de-agua/projetos>>, acesso em 20 jun 2018.
- ANA (Agência Nacional de Água). **Programa Produtor de Água**. 2012. Disponível em <<http://produtordeagua.ana.gov.br/Principal.aspx>>, acesso em 21 ago 2017.
- AQUINO, C. M. S. de; VALLADARES, G. S. Geografia, Geotecnologias e Planejamento Ambiental. **Geografia**. Londrina, v. 22, n. 1, p. 117-138. 2013.
- ARAI, E. Sensor MODIS: descrição e produtos. Sensoriamento Remoto do Clima – SER-311. 2014. Disponível em: <http://www2.fct.unesp.br/docentes/cartoenner/Processamento%20MODIS/Ser311_2014_MODIS.pdf>, acesso em 20.jun.2016.
- ARZOLLA, F. A. R. da P.; VILELA, F. E. S. P.; ANTUNES, A. Z.; MOURA, C. de; SILVA, D. A. da; CAMPOS, F. P. de; PAULA, G. C. R. de; AOKI, H.; MATTOS, I. F. de A.; PASTORE, J. A.; SILVA, J. da; RESENDE, M. A. C. S.; KANASHIRO, M. M.; VICTOR, R. A. B. M.; OLIVEIRA, R. C. R. de. **A Criação da Estação Ecológica de Avaré, SP: Adequação do Horto Florestal Andrada e Silva ao Sistema Nacional de Unidades de Conservação**. 2016. Disponível em <<https://www.researchgate.net/publication/305033394>>, acesso em 19 abr 2017.
- BERGAMASCHI, H. et al. Estimating maize water requirements using agrometeorological data. **Revista Argentina de Agrometeorologia**, v.1, p.23-27, 2001.

BEVEN, K. J.; KIRKBY, M. J. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. **Hydrologic Science Bulletin**, v.24, n.1, p.43–69. 1979.

BORATTO, I. M. de P.; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: **XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Anais... Brasil, INPE, 2013.

BORATTO, I. M. de; GOMIDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas de Gerais. **EMBRAPA Milho e Sorgo**. 2013.

BRASIL ESCOLA. **Água**. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/agua.htm>>, acesso em 06 fev 2018.

BUARQUE, D. C.; FAN, F. M.; PAZ, A. R. da; COLLISCHONN, W. Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v.14, n.2, p.91-103. 2009.

BURROUGH, P. A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment. **Clarendon Press**, Oxford. 193p. 1987.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística**: princípios e aplicações. Porto Alegre: Artemed, 2003. 255p.

CALLEGARI-JACQUES, S. M. Bioestatística: princípios. **Porto Alegre: Artmed**. 255p. 2003.

CÂMARA, G. E.; MEDEIROS, J. S. de. Mapas e suas representações computacionais. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistemas de Informações Geográficas**: aplicações na agricultura. 2. Ed. Brasília: Embrapa-CPAC, 1998. p. 13-29.

CAMARGO, A. P. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Bragantia**, v.21, p.163-213, 1962.

CAMPAROTTO, L. B.; BLAIN, G. C.; GIAROLLA, A.; ADAMI, M.; CAMARGO, M. B. P. de. Validação de dados termopluviométricos obtidos via sensoriamento remoto para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. 17 (6), pp. 665–671. 2013.

CAPOANE, V.; TIECHER, T.; ALVAREZ, J. W. R. R.; SCHAEFER, G. L.; SANTOS, L. J. C.; SANTOS, D. R. dos. Influência da resolução do modelo digital de elevação na determinação do índice topográfico de umidade e na capacidade de predição dos teores carbono orgânico do solo. **Revista Geo UERJ**. Rio de Janeiro, n. 27, p. 144-155. 2015.

CÁRDENA.S, F. P. A. **Zoneamento Geoambiental de uma parte da Bacia do Rio Nechí – Colômbia, por meio de Técnica de Geoprocessamento.** 1999.

Dissertação (Mestrado em Geologia) – Universidade de Brasília, Brasília, 1999.

CAVALCANTE, R. Apostila de Introdução ao SIG. **Universidade Federal de Minas Gerais.** Departamento de Planejamento Físico. 2015.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **Consulta por aquíferos monitorados.** Disponível em <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/programa-de-monitoramento/consulta-por-aquiferos-monitorados/>>, acesso em 01 out 2018.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **Poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo: Estudo Preliminar.** São Paulo: Secretaria de Obras e do Meio Ambiente. 88p. 1977.

CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo). **São Paulo Relatório de qualidade das águas subterrâneas no Estado de São Paulo 2001 - 2003** - São Paulo: CETESB, 2004. p. + anexos: il.; 30 cm. - (Série Relatórios/CETESB, ISSN 0103-4103).

CHAVES, H. M. L.; BRAGA JUNIOR. B.; DOMINGUES, A. F.; SANTOS, D. G. Quantificação dos benefícios ambientais e compensações financeiras do “Programa do Produtor de Água” (ANA): I. Teoria. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** 2004.

CIELO FILHO, R.; BAITELLO, J. B.; ARZOLLA, F. A. R. dal P.; VILELA, F. E. S. P.; KANASHIRO, M. M.; MATTOS, I. F. de A.; AGUIAR, O. T. de; SOUZA, S. C. P. M. de; PASTORE, J. A.; FRANCO, G. A. D. C.; ZIMBACK, L. A vegetação da estação ecológica de Avaré: Subsídios para o plano de manejo. **IF Série Registro** n.53 p.5-42. 2015.

COLLICHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai Superior. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.59, p.93-99, 2007.

COLLISCHONN, B.; COLLISCHONN, W.; SILVA, B. C.; TUCCI, C. E. M. Simulação hidrológica da bacia do rio São Francisco usando precipitação estimada pelo satélite TRMM: resultados preliminares. 2017. Disponível em: < <http://rhama.com.br/blog/wp-content/uploads/2017/04/TRRM.pdf> >, acesso em 15 jun 2016.

COSTA-CABRAL, M. C.; BURGESS, S. J. Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas. **Water Resources Research**, 30 (6): 1681-1692. 1994.

CRUZ, A. C. R.; LIBARDI, P. L.; ROCHA, G. C.; CARVALHO, L. A. de. Evapotranspiração real de uma cultura de laranja em produção num latossolo vermelho-amarelo. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. 29: 659-668. 2005.

DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica); IG (Instituto Geológico); IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas); CPRM (Serviço Geológico do Brasil). Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo. Escala 1:1.000.000. **Nota Explicativa**. São Paulo. 2005. Disponível em: <http://www.dae.sp.gov.br/images/documentos/MAPA_AS.pdf>, acesso em 08 out 2018.

DESMET, P. J. J.; GOVERS, G. Comparison of routing algorithms for digital elevation models and their implications for predicting ephemeral gullies. **International Journal of Geographical Information Systems**, 10 (3): 311-331. 1996.

DIAS, E. R. Geração de modelo digital de elevação utilizando dados do SRTM como subsídio ao planejamento e gestão territorial do município de Lucena/PB. *Caderno de Geografia*, v.26, n.45. 2016.

DIAZ, C. C. F.; PEREIRA, J. A. dos S.; NÓBREGA, R. S. Validação de dados de precipitação diária estimados por satélite sobre a bacia do Rio Una. **Anais: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, João Pessoa/PB, 2015.

DOUSSEAU, S. Detalhes técnicos: CBERS-4 e LANDSAT-8. 2016. Disponível em <<http://sergiodousseau.blogspot.com/2016/05/detalhes-tecnicos-cbers-4-e-landsat-8.html>>, acesso em 28 out 2018.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). LANDSAT – Land Remote Sensing Satellite. 2013. Disponível em <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/sat/conteudo/missao_landsat.html>, acesso em 4 out 2018.

EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária). Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (Rio de Janeiro, RJ). In: **Reunião Técnica de Levantamento de Solos**. 1979, Rio de Janeiro. Súmula... Rio de Janeiro, 1979. 83 p. (EMBRAPA-SNLCS. Micelânea, 1).

FEITOSA, E. C.; MANOEL FILHO, J.; COSTA, W. D.; FEITOSA, F. A. C.; DEMETRIO, J. G. A.; FRANÇA, H. P. M. Avaliação de recursos hídricos subterrâneos. In: FEITOSA, F. A. C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: CPRM/LABHID, 2008. p. 661-671.

FERNANDES, E. J.; TURCO, J. E. P. Evapotranspiração de referência para manejo da irrigação em cultura de soja. **Irriga**. v. 8, n. 2, p. 132-141. Botucatu. 2003.

FIESP (Federação das Indústrias do Estado de São Paulo). **Orientações para a utilização de Águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. 40p. 2005.

FILGUEIRAS, R.; RIBEIRO, R. B.; RODRIGUES, C. N. Estimativa da evapotranspiração a partir de imagens do sensor MODIS aplicada à região norte de Minas Gerais. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.9, N.16; p. 1067-1078, 2013.

FREEMAN, T. G. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid. **Computers and Geosciences**, 17: 413- 422. 1991.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. 2017. Disponível em <<http://fflorestal.sp.gov.br/unidades-de-conservacao/estacao-ecologica/>>, acesso em 04 abr 2017.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. 2019. Disponível em < <http://fflorestal.sp.gov.br/mapas/> > acesso em 09 jan 2019.

GALETTI, G. Diagnóstico da estrutura da paisagem da estação ecológica de Avaré e seu entorno, como subsídio à sua conservação. **Dissertação** (Mestrado em Sustentabilidade na Gestão Ambiental). Universidade Federal de São Carlos. Sorocaba, SP. 2013.

GALLANT, J. C.; WILSON, J. P. Primary topographic attributes. In: WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. (Ed.). *Terrain analysis: principles and applications*. **New York: John Wiley**, p. 51-85. 2000.

GAO, B. NDWI – A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**. v.58, p.257-266. 1996.

GARCIA, M. J. L.; CAMARASA, A. M. Use of geomorphological units to improve drainage network extraction from DEM: Comparison between automated extraction and photointerpretation methods in the Carraixet catchment (Valencia, Spain). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, n.3-4, p. 187-194, 1999.

GONZAGA, E. P.; SANTOS, V.V.; NIÁCIO, R.M. Análise do comportamento do NDVI e NDWI em períodos de diferentes intensidades pluviométricas no Sertão alagoano. In: **XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Curitiba, PR, Anais... Brasil, INPE, p.1736. 2011.

HUFFMAN, G. J.; ADLER, R. F.; BOLVIN, D. T.; GU, G.; NELKIN, E. J.; BOWMAN, K. P.; HONG, Y.; STOCKER, E. F.; WOLFF, D. B. The TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-Global, Multiyear, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scales. **Journal of Hydrometeorology**. v.28, p.38-55. 2007.

HUXMAN, T. E.; SMITH, M.D.; FAY, P. A.; KNAPP, A. K.; SHAW, R.; LOIK, M. E.; SMITH, S. D.; TISSUE, D. T.; ZAK, J. C.; WELTZIN, J. F.; POCKMAN, W. T.; SALA, O. E.; HADDAD, B. M.; HARTE, J.; KOCH, G. W.; SCHWINNING, S.; SMALL, E. E.; WILLIAMS, D. G. Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. **Nature**, [S.l.], v. 429, n. 6992, p. 651-654, 2004.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 1973. **Carta de Avaré**. Disponível em <<http://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa15959>>, acesso em 30 set 2015. **Carta de Rio Palmital**. Disponível em: <<http://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#mapa15921>>, acesso em 30 set 2015.

IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**, escala 1:500.000 (Série Monografias n. 5, v.1). São Paulo. 1981.

JENSEN, J. Sensoriamento Remoto do ambiente: uma perspectiva em recurso terrestre. Tradução José Carlos Neves Epiphany et al.. (Coord). **São José dos Campos: Parênteses**, 2009.

JENSON, S. K., DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 54 (11), p.1593-1600. 1988.

JUSTICE, C.O.; GIGLIO, B.; KORONTZI, S.; OWENS, J.; MORISETTE, J.T.; ROY, D.P.; DESCLOITRES, J.; ALLEAUME, S.; PETITCOLIN, F.; KAUFMAN, Y. The MODIS fire products. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2 : p. 244-26, 2002.

KARASEVA, M.; PRAKASH, S.; GAIROLA, R. Validation of high-resolution TRMM-3B43 precipitation product using rain gauge measurements over Kyrgyzstan. **Theoretical and Applied Climatology**, v.108, p.147-157, 2011.

KRONKA, F. J. N.; NALON, M. A.; MATSUKUMA, C. K.; KANASHIRO, M. M.; SHIN-IKE YWANE, M. S.; PAVÃO, M.; DURIGAN, G.; LIMA, L. M. P. R.; GUILLAUMON, J. R.; BAITELLO, J. B.; BORGIO, S. C.; MANETTI, L. A.; BARRADAS, A. M. F.; FUKUDA, J. C.; SHIDA, C. N.; BARBOSA, O.; SOARES, A. P.; JOLY, C. A.; COUTO, H. T. Z. do. Inventário florestal da vegetação natural do estado de São Paulo. **Secretaria do Meio Ambiente/Instituto Florestal**. São Paulo. 2005.

KUMMEROW, C.; BARNES, W.; KOZU, T.; SHIUE, J.; SIMPSON, J. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) Sensor Package. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 15, n. 3, p. 9, 1998.

KUREK, R. K. M.; TASSI, R.; PICCILLI, D. G. A. Aplicabilidade da precipitação estimada pelo satélite TRMM na modelagem chuva-vazão: uma análise na sub-bacia do rio Guaporé/RS. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos: Segurança Hídrica e Desenvolvimento Sustentável: desafios do conhecimento e da gestão**. Brasília/DF. 2015.

LEIVAS, J. F.; RIBEIRO, G. G.; DE SOUZA, M. B.; ROCHA FILHO, J. Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 14., 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, p.1611-1616. 2009.

LEIVAS, J. F.; RIBEIRO, G. G.; SOUZA, M. B. de; ROCHA FILHO, J. Análise comparativa entre os dados de precipitação estimados via satélite TRMM e dados observados de superfície em Manaus. **Anais: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Natal/RN, p. 1611-1616, 2009.

LIN, S.; MOORE, N. J.; MESSINA, J. P.; VISSER, M. H. DE; WU, J. Evaluation of estimating daily maximum and minimum air temperature with MODIS data in east Africa. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.18, p.128-140, 2012.

LOUZADA, F. L. R. O. Balanço hídrico climatológico com dados estimados pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission para a bacia hidrográfica do Rio Doce. 2016. **Tese** (Doutorado em Recursos hídricos e Geoprocessamento em sistemas agrícolas), Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2016.

MACHADO, R. E. Simulação de escoamento e de produção de sedimentos em uma microbacia hidrográfica utilizando técnicas de modelagem e geoprocessamento. **Tese** (Doutorado em Agronomia, Área de Concentração Irrigação e Drenagem). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 154p. 2002.

MACHADO, T. da S.; CAIONI, C.; FERNANDES, R. S.; NEVES, R. J.; NEVES, S. M. A. da S. Análise de NDVI e NDWI em diferentes intensidades pluviométricas para bacia hidrográfica do rio do Cachoeirinha – Mato Grosso, Brasil. Anais **5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Campo Grande, MS. Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.690-699. 2014.

MACHADO, T. S.; CIONI, C.; FERNANDES, R. S.; NEVES, R. J.; NEVES, S. M. A. S. Análise de NDVI e NDWI em diferentes intensidades pluviométricas para bacia hidrográfica do rio do Cachoeirinha – Mato Grosso, Brasil. In: **5º SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIA DO PANTANAL**, 2014, Campo Grande. Anais... São José dos Campos: INPE, p. 690-699. 2014.

MANGHI, G.; CAVALLINI, P.; NEVES, V. Quantum GIS: Um desktop potente e amigável. **Revista FOSSGIS Brasil**, Junho 2011. Disponível em <www.fossgisbrasil.com.br>, acesso em 30 de out 2018.

MANZIONE, R.L. **Águas Subterrâneas: Conceitos e Aplicações sob uma Visão Multidisciplinar**. 1ª Ed. Jundiaí: Paco Editorial; 2015. 388 p.

- MARIANO, G. L. **Classificações climáticas**. 2014. Disponível em <<https://wp.ufpel.edu.br/glaubermariano/files/2014/01/Unidade-V-Classifica%C3%A7%C3%B5es-Clim%C3%A1ticas.pdf>>, acesso em 19 mar 2018.
- MASCARO, S. de A. Evolução espaço-temporal do uso e cobertura do solo nas estâncias turísticas de Avaré e Paranapanema, no reservatório de Jurumirim (SP). **Dissertação** (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 2004.
- MEDEIROS, A. Análise comparativa entre modelos digitais de elevação. Disponível em: <<http://www.andersonmedeiros.com/comparacao-entre-mde-aster-srtm-topodata/>>, acesso em 04 jan 2019.
- MELLEK, J. E. Determinação de parâmetros hidrológicos da sub-bacia do Rio Belém usando sistemas de informações geográficas. **Especialização** (Especialista em geoprocessamento). Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2012.
- MESTRINHO, S. S. P. Monitoramento em água subterrânea. In: FEITOSA, F.A.C.; MANOEL FILHO, J.; FEITOSA, E. C.; DEMETRIO, J. G. A. Hidrogeologia: Conceitos e aplicações. **CPRM/LABHID**, Rio de Janeiro, p. 673-686. 2008.
- MITTERMEIER, R. A.; GIL, P. R.; HOFFMANN, M.; PILGRIM, J.; BROOKS, T.; MITTERMEIER, C. G.; LAMOUREX, J.; FONSECA, G. A. B. da. Hotspots Revisitados: As Regiões Biologicamente Mais Ricas e Ameaçadas do Planeta (Mata Atlântica e Cerrado). **Conservação Internacional**. Brasil. 2005.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. Cobertura de unidades de conservação por bioma e por tipo (proteção integral e uso sustentável). 2011. Disponível em <http://www.mma.gov.br/estruturas/219/_arquivos/texto_indicadores_uc_01fev11_219.pdf>, acesso em 20 jan 2019.
- MOORE, I. D.; GESSLER, G. A.; PETERSON, G. A. Soil attribute prediction using terrain analysis. **Soil Science Society of America Journal**, v.57, p.443-452, 1993.
- MORAES, E. C.; OLIVEIRA, G. de Utilização de dados MOD16 para análise da evapotranspiração em remanescentes florestais da Mata Atlântica no estado de São Paulo entre 2000 e 2010. **Anais: XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, João Pessoa/PB, 2015.
- MOREIRA, A. A.; ADAMATTI, D. S.; RUHOFF, A. L. Avaliação dos produtos de evapotranspiração baseados em sensoriamento remoto MOD16 e GLEAM em sítios de fluxos turbulentos do Programa LBA. **Ciência e Natura, Santa Maria**. v.40, Edição Especial: X Workshop Brasileiro de Micrometeorologia. p. 112 – 118. 2018.
- MU, Q.; HEINSCH, F. A.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. Development of a global evapotranspiration algorithm based on modis and global meteorology data. **Remote Sens. Environ**. 111(4):519–536. 2007.

- MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. Improvements to a MODIS Global Terrestrial Evapotranspiration Algorithm. **Remote Sensing of Environment**. 115, pp. 1781-1800. 2011.
- MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B. da; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**. v.403, p.853-858. 2000.
- NAGLER, P. L.; CLEVERLY, J.; GLENN, E.; LAMPKIN, D.; HUETE, A. WAN, Z. Predicting riparian evapotranspiration from MODIS vegetation. **Remote Sensing of Environment**, n. 94, p.17-30, 2005.
- NAVA, A. Modelagem dos níveis freáticos do Sistema Aquífero Bauru (SAB) em diferentes usos da terra no município de Assis. **Dissertação** (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA. 2015.
- NTSG**. 2016. Disponível em: < <http://www.ntsg.umn.edu/project/mod16> >, acesso em 10 mai 2016.
- O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics, and Image Processing**, 28(3), p.323-344. 1984.
- OLIVEIRA, A. H.; SILVA, M. A. DA; SILVA, M. L. N.; AVANZI, J. C.; CURTI, N.; LIMA, G. C.; PEREIRA, P. H. Caracterização ambiental e predição dos teores de matéria orgânica do solo na Sub-Bacia do Salto, Extrema, MG. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 33, n. 1, p. 143-154, 2012.
- OLIVEIRA, J. B.; CAMARGO, M. N; ROSSI, M.; BRAZ, C. F. Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida. Instituto Agrônômico, **EMBRAPA**. Campinas/Rio de Janeiro. 1999.
- OLIVEIRA, L. G. L.; PEREIRA, L. M.; PEREIRA, G.; MORAES, E. C.; MAEDA, E. E. Estudo da variabilidade de índices de vegetação através de imagens do ETM+/LANDSAT 7. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 13., Florianópolis. Anais... Florianópolis: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007. p. 5995-6002. 2007a.
- OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, B. B.; MOURA, A. E. S. S.; VILLAR, A. C.; GUSMÃO, L.; SALGUEIRO, J. H. P. B. Índices de vegetação por sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do rio Tapacurá - PE. In: **XX Simpósio brasileiro de recursos hídricos**, Bento Gonçalves, RS, Anais... Brasil, 2013.
- OLIVEIRA, M. R. de; BAPTISTA, G. M. de M. Validação do Modelo Espectral de Estimativa de Evapotranspiração na Região de Gilbués, Piauí. **Anais: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Curitiba/PR, 2011.

OLIVEIRA, S. N. de; CARVALHO JUNIOR, O. A. de; SILVA, T. M. de; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. de S.; GUIMARÃES, R. F.; SILVA, N. C. da. Delimitação automática de bacias de drenagens e análise multivariada de atributos morfométricos usando modelo digital de elevação hidrologicamente corrigido.

Revista Brasileira de Geomorfologia, v.8, n.1, p.3-21, 2007b.

PAZ, A. R. **Hidrologia Aplicada**. 2004. Disponível em:

<http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/apostila_HIDROLOGIA_APLICADA_UE RGS.pdf>, acesso em 21 set 2017.

PEREIRA, H. M.; LEADLEY, P. W.; PROENÇA, V.; ALKEMADE, R.; SCHARLEMANN, J. P. W.; FERNANDEZ-MANJARRÉS, J. F.; ARAÚJO, M. B.; BALVANERA, P.; BIGGS, R.; CHEUNG, W. W. L.; CHINI, L.; COOPER, H. D.; GILMAN, E. L.; GUÉNETTE, S.; HURTT, G. C.; HUNTINGTON, H. P.; MACE, G. M.; OBERDORFF, T.; REVENGA, C.; RODRIGUES, P.; SCHOLLES, R. J.; SUMAILA, U. R.; WALPOLE, M. Scenarios of global diversity in the 21 st century. **Science**, v. 330, p. 1496-1501, 2010.

PLANO DE MANEJO DA ESTAÇÃO ECOLÓGICA DE AVARÉ. Disponível em <http://www.sigam.ambiente.sp.gov.br/sigam3/Repositorio/511/Documentos/EE_Avare/Plano_Manejo_EEcAvare_Diagnostico1.pdf>, acesso em 22 dez 2018.

QGIS Brasil. 2018. Disponível em <<http://qgisbrasil.org/>>, acesso em 15 nov 2018.

QUINN, P.; BEVEN, K.; CHEVALLIER, P.; PLANCHON, O. The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological modeling using digital terrain models.

Hydrological Processes, 5: 59-80. 1991.

RAMIRES, T; MARTINEZ, V. M.; GONÇALVES, V. F. M.; SANTAROSA, L. V.; NAVA, A.; MANZIONE, R. L.; SILVA, R. de C. F. da. Análise de correlação entre dados de precipitação mensal estimada com informações do satélite TRMM e obtidos em uma estação pluviométrica. **Anais: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Brasília/DF, 2015.

RAMOS, V. M., GUIMARÃES, R. F., REDIVO, A. L., CARVALHO JUNIOR, O. A. de, FERNANDES, N. F.; GOMES, R. A. T. Avaliação de metodologias de determinação do cálculo de áreas de contribuição. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, 4 (2): 41-49. 2003.

ROSA, F. S. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 16, p. 81-90, 2005.

ROSENDO, J. S. Índices de Vegetação e Monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na Bacia do rio Araguari -MG - utilizando dados do sensor MODIS.

Dissertação (Mestrado em Geografia e Gestão do Território) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 130 p.

2005. Disponível em: < http://ecologia.ib.usp.br/lepac/bie5759/jussara_santos.pdf>, acesso em: 13 mar 2018.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: FRADEN S.C., MARCANTI, E.P. & BECKER, M.A. (eds.), **Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium**, 10-14 Dec. 1973, NASA SP-351, Washington DC. NASA, p. 309-317. 1974.

SAFRE, A. L. dos S. Simulação numérica do fluxo das águas subterrâneas na Estação Ecológica de Santa Bárbara/SP. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu. 2018.

SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses). 2018. Disponível em <<http://www.saga-gis.org/en/index.html>>, acesso em 20 ago 2018.

SALOMONSON, V. V.; TOLL, D. L. Execution phase (C/D) spectral band characteristics of the EOS Moderate Resolution Imaging Spectrometer (MODIS-N) facility instrument. **Advances in Space Reserach**, v.2, n.3, p.231-236, 1990.

SANTAROSA, L. V. Mapeamento de níveis freáticos do Sistema Aquífero Bauru (SAB) em área de proteção ambiental em Águas de Santa Bárbara/SP durante o ano hidrológico 2014/15. **Dissertação** (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas. Botucatu. 2016.

SANTAROSA, L. V.; MANZIONE, R. L. Variáveis do solo como informação auxiliar para predição espacial no nível freático superficial aplicada na estimativa do volume de água recuperado. **RBRH [online]**. v. 23, e. 24. 2018.

SANTOS, D. G. dos. **Programa Produtor de Água**. 2015. Disponível em <http://produtordeagua.ana.gov.br/Portals/0/DocsDNN6/Seminario_Marco_2015/Produtor%20de%20Agua%20Seminario%20do%20PPA.pdf>, acesso em 22 set 2017.

São Paulo (Estado). Decreto nº 53.494, de 2 de outubro de 2008. Declara as espécies da fauna silvestre ameaçadas, as quase ameaçadas, as colapsadas, sobrexplotadas, ameaçadas de sobrexplotação e com dados insuficientes para avaliação no Estado de São Paulo e dá providências correlatas. D.O.E., **Poder Executivo**, v. 118, n. 187, de 2 out. 2008. Seção I, p. 2-10. São Paulo.

SAP (Sistema Ambiental Paulista). **Unidades de Conservação**. Disponível em <<http://www.ambiente.sp.gov.br/ambiente/parques-e-unidades-de-conservacao/>>, acesso em 11 jan 2018.

SENTELHAS, P. C.; PEREIRA, A. R.; MARIN, F. R.; ANGELOCCI, L. R.; ALFONSI, R. R.; CARAMORI, P. H.; SWART, S. Balanços hídricos climatológicos do Brasil - 500 balanços hídricos de localidades brasileiras. Piracicaba: **ESALQ**; 1999.

Disponível em <www.ler.esalq.usp.br/bhbrasil/BHBRASIL/BHBRASIL.DOC>, acesso em 08 jun 2017.

Serviço Florestal Brasileiro. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação**. 2017. Disponível em <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/sistema-nacional-de-unidades-de-conservacao?print=1&tmpl=component>>, acesso em 07 abr 2017.

SIGRH. 2018. **Situação dos Recursos Hídricos**. Disponível em <<http://www.sigrh.sp.gov.br/arquivos/perh/r0estadual/mapa07.htm>>, acesso em 15 out de 2018.

SILVA, C. A. V. da; SILVA, H. A. da, OLIVEIRA, T. H. de; GALVINCIO, J. D. Uso do Sensoriamento Remoto através de Índices de Vegetação NDVI, SAVI e IAF na microrregião de Itamaracá – PE. Anais **XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, Natal/RN, Brasil, p. 3079-3085, 2009.

SILVA, C. A. V. da; SILVA, H. A. da; OLIVEIRA, T. H. de; GALVINCIO, J. D. Uso do sensoriamento remoto através de Índices de Vegetação NDVI, SAVI e IAF na microrregião de Itamaracá – PE. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 14 (SBSR), 2009, Natal. Anais... São José dos Campos: INPE, 2009. p.3079-3085. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.02.18.31/doc/3079-3085.pdf>>, acesso em 21 mar 2018.

SILVA, D. A.; KANASSHIRO, M. M. Caracterização do meio físico. In: ARZOLLA, F. A. R. D. P.; VILELA, F. E. S. P. (Coordenador). Proposta de criação da Estação Ecológica de Avaré. São Paulo: **Secretaria do Meio Ambiente/ Instituto Florestal**. 2010.

SILVA, D. P. da; FERREIRA, M. E.; OLIVEIRA, L. C. N. Uso de imagens do satélite TRMM para quantificação do regime de chuvas e nebulosidade no bioma Pantanal. Anais: **5º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal**, Campo Grande, MS, p. 680-689, 2014.

SILVA-FUZZO, D. F. da; PRELA-PANTANO, A.; CAMARGO, M. B. P. de. Modelagem agrometeorológica para estimativa de produtividade de soja para o vale do Médio Paranapanema-SP. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 490-501, 2015.

SMITH, M.; GROOT, D. de; PERROT-MAITRE, D.; BERGKAMP, G. Pay: establishing payments for watershed services. **Gland: IUCN**, 2008. Disponível em: <<https://portals.iucn.org/library/sites/library/files/documents/2006-054.pdf>>. Acesso em 10 jul 2018.

SNUC (**Sistema Nacional de Unidades de Conservação**). 2017. Disponível em <<http://www.florestal.gov.br/snif/recursos-florestais/sistema-nacional-de-unidades-de-conservacao?print=1&tmpl=component>>, acesso em 07 mar 2017.

SOBRINHO, T. A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57, 2010.

SOUSA, A. 2012. Coeficiente de correlação de Pearson. Departamento de Matemática. **Universidade dos Açores**. Portugal. Disponível em: <http://www.aurea.uac.pt/pdf_MBA/coef_correl_Pearson.pdf>. Acesso em 17.mai.2016.

SWRCB (State Water Resource Control Board). **Report to the Governor and Legislature: A comprehensive groundwater quality monitoring program for California**. 2003. Disponível em <https://www.waterboards.ca.gov/gama/docs/final_ab_599_rpt_to_legis_7_31_03.pdf>, acesso em 25 mar 2018.

TARBOTON, D. G. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, 33 (2): 309-319. 1997.

TauDEM. Terrain analyses using digital elevation models. Disponível em <<http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5/index.html>>, acesso em 15 nov 2018.

TEISSEDRE, J. Água subterrânea na irrigação. **X Encontro Nacional de Perfuradores de Poços**. 1997.

TEIXEIRA, A. M. de A.; CANDELAS, A. L. B.; TAVERES JUNIOR; J. R. Comparação dos índices de vegetação para imagens TM/Landsat 5, com correção e sem correção atmosférica. **Revista Brasileira de Geomática**, Curitiba, v. 5, n. 4, p. 524-542, 2017.

THOMAS, C. D.; CAMERON, A.; GREEN, R. E.; BAKKENES, M.; BEAUMONT, L. J.; COLLINGHAM, Y. C.; ERASMUS, B. F.; SIQUEIRA, M. F. de; GRAINGER, A.; HANNAH, L.; HUGHES, L.; HUNTLEY, B.; VAN JAARVELD, A. S.; MIDGLEY, G. F.; MILES, L.; ORTEGA-HUERTA, M. A.; PETERSON, A. T.; PHILLIPS, O. L.; WILLIAMS, S. E. Extinction risk from climate change. **Nature**, Leeds, UK, v. 427, n.8, p. 145-148, 2004.

TOMASIELLO, D. B. **MDT**. 2010. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2010/08/05/mdt/>>, acesso em 14 ago 2017.

TRIBE, A. Automated recognition of valley lines and drainage networks from grid digital elevation models: A review and a new method. **Journal of Hydrology**, v.139. p.263-293. 1992.

TRIOLA, M. F. Introdução a Estatística, 10 ed, **Editora LTC**, Rio de Janeiro, 2008.

TRMM. **TRMM Data Downloads**. 2018. Disponível em <<https://pmm.nasa.gov/data-access/downloads/trmm>>, acesso em 30 out 2018.

- TUCCI, C. E. M. Hidrologia aplicada. Porto Alegre: **Editora UFRGS/ABRH**. 4ª Edição. p. 289-333. 2009.
- TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 2.ed. Porto Alegre: **ABRH/Editora da UFRGS**, 1997.
- TUINHOF, A.; FOSTER S; KEMPER K; GARDUNO H; NANNI M. Sustainable Groundwater Management: Concepts and Tools. Groundwater Monitoring: Requirements for managing aquifer response and quality threats. **GWMate. Briefing Note Series Briefing**. Note 9. World Bank. Global Water Partnership Associate Program. 10p. 2004.
- UCB (Unidades de Conservação no Brasil). Categorias de UCs. 2017. Disponível em <<https://uc.socioambiental.org/o-snuc/categorias-de-ucs>>, acesso em 07 mar 2017.
- UIL, H.; VAN GEER, F. C.; GEHRELS, J. C.; KLOOSTERMAN, F. H. State of art on monitoring and assessment of groundwaters. UN/ECE Task Force on Monitoring and Assesemt. Working Programme 1996/1999. Volume 4. **The Netherlands Institute of Applird Geoscience**: Lelystad. 84 p. 1999.
- UNEP/WHO. Water Quality Monitoring - A Practical Guide to the Design and Implementation of Freshwater Quality Studies and Monitoring Programmes. **Organização Mundial da Saúde**. Genebra. 1996.
- VALERIANO, M.M.; ABDON, M.M. Aplicação de dados SRTM a estudos do Pantanal. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v.59, n.1, p.63-71, 2007.
- VASCONCELOS, M. B. Poços para captação de águas subterrâneas: Revisão de conceitos e proposta de nomenclatura. **XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas**. 2014.
- WILKS, D. S. Statistical methods in the atmospheric sciences. Department of Earth and Atmospheric Sciences. Cornell University. **Academic press**, 2, 85–87. 2006.
- WILSON, J. P.; GALLANT, J. C. Terrain Analysis: Principles and Applications. **John Wiley & Sons, Inc.**, New York, 2000.
- WUNDER, S. Payments for environmental services: some nuts and bolts. Bogor Barat: Center for International Forestry Research. **Center for International Forestry Research**. 24p. 2005. (CIFOR Occasional Paper, 42). Disponível em: <http://www.cifor.org/publications/pdf_files/OccPapers/OP-42.pdf>. Acesso em 10 jul 2018.