

UNESP: Universidade Estadual Paulista

“Júlio Mesquita Filho”

Campus de Ourinhos

ANDRÉ ATHAYDE AVANZI

**ANÁLISE DO REGIME PLUVIOMÉTRICO NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO
MÉDIO PARANAPANEMA (UGRHI-17) NO ANO HIDROLÓGICO 2013/2014**

Ourinhos-SP

2016

UNESP: Universidade Estadual Paulista

“Júlio Mesquita Filho”

Campus de Ourinhos

André Athayde Avanzi

**ANÁLISE DO REGIME PLUVIOMÉTRICO NA REGIÃO HIDROGRÁFICA DO
MÉDIO PARANAPANEMA (UGRHI-17) NO ANO HIDROLÓGICO 2013/2014**

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
banca examinadora para obtenção do título de
Bacharel em Geografia pela Unesp – Campus de
Ourinhos.*

Orientador: Rodrigo Lilla Manzione

Ourinhos-SP

2016

Banca examinadora

Profº Drº Rodrigo Lilla Manzione (Orientador)

Profª Drª Daniela Fernanda da Silva Fuzzo

Profº Drº Edson Luis Piroli

-

Ourinhos, 16 de dezembro de 2016.

***A minha mãe Cristina,
minha irmã Marina e
ao meu pai Nei, dedico.***

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço à minha família todo o apoio concedido ao longo desses anos de graduação. Em especial fomento esta parte ao meu pai Wladinei, minha mãe Cristina e minha irmã Marina.

Aos amigos da graduação e da cidade de Ourinhos que sempre estiveram tão presentes ao meu cotidiano e também me apresentaram e aproximaram da música e toda sua complexidade.

A República Estudantil Rê Bordosa e todas as pessoas que ali moraram onde contribuíram com os mais importantes aprendizados sobre família e amizade. A todos os membros da República Popular da Augusta que continuou e atenuou os mesmos processos de aprendizados.

A Batucada Resistência que sempre estará profundamente tatuada em meu coração.

A Santa Luz e todos os amigos de Assis, que me iniciaram aos intensos processos de autoconhecimento. Conhecimento este que estabilizou minhas energias para concluir a graduação.

Um agradecimento muito especial e carinhoso à uma linda abelhinha chamada Fabíola por me ajudar a suportar e superar todas as instabilidades durante a elaboração deste trabalho.

Ao professor Rodrigo Manzione que me orientou, confiou na minha capacidade e sempre se demonstrou muito prestativo.

À professora Daniela Fuzzo que sempre acreditou na minha ajuda para com as monitorias e que ao final de tudo se transformou numa querida amiga.

A todos os funcionários, professores e servidores da UNESP.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	9
1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	10
2. OBJETIVOS	13
2.1 Objetivo geral	13
2.2 Objetivos Específicos	13
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
3.1 Monitoramento da precipitação	14
3.2 Uso do Sensoriamento Remoto como fonte de dados	17
3.3 O satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)	20
3.4 Variabilidade Espacial	23
3.5 A bacia hidrográfica do Médio Paranapanema (UGRHI-17)	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	37
4.1 Dados Disponíveis	37
4.2 Análise Espacial	37
4.2.1 Análise Exploratória dos Dados	37
4.2.2 Variografia	38
4.2.3 Krigagem	39
4.2.4 Validação Cruzada	39
4.2.5 Reclassificação via Álgebra de Mapas	39
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
5.1 Análise exploratória	41
5.2 Variografia	44
5.3 Validação Cruzada	48
5.4 Mapeamento da Precipitação	52
5.5 Mapa da média das precipitações (2000 a 2010) na UGRHI-17	63
5.6 Diferença entre o a precipitação acumulada no período hidrológico de 2013-2014 e a média das precipitações (2000 a 2010) na UGRHI-17	64
6. CONCLUSÕES	67
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	68

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação esquemática da aquisição de dados estimados pelo satélite Espacial TRMM.	21
Figura 2. Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (UGRHI-17).	28
Figura 3. Situação da UGRHI-17 e demais unidades no Estado de São Paulo.	29
Figura 4. Unidades Hidrográficas principais da UGRHI-17.	30
Figura 5. Representação do Relevo. Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (UGRHI-17).	31
Figura 6. Principais unidades aquíferas atuantes na UGRHI-17.	32
Figura 7. Histograma das precipitações dos períodos de 2000/01 e 2001/02.	43
Figura 8. Histograma das precipitações dos períodos de 2002/03 e 2003/04.	43
Figura 9. Histograma das precipitações dos períodos de 2004/05 e 2005/06.	43
Figura 10. Histograma das precipitações dos períodos de 2006/07 e 2007/08.	43
Figura 11. Histograma das precipitações dos períodos de 2008/09 e 2009/10.	44
Figura 12. Histograma das precipitações do período de 2013/14 e Média Decenal 2000/2010.	44
Figura 13. Variograma para os dados de precipitação nos anos de 2000/01 e 2001/02.	46
Figura 14. Variograma para os dados de precipitação nos anos de 2002/03 e 2003/04.	46
Figura 15. Variograma para os dados de precipitação nos anos de 2004/05 e 2005/06.	46
Figura 16. Variograma para os dados de precipitação nos anos de 2006/07 e 2007/08.	47
Figura 17. Variograma para os dados de precipitação nos anos de 2008/09 e 2009/10.	47
Figura 18. Variograma de precipitação nos anos de 2013/14 e Média Decenal 2000-2010.	47
Figura 19. Validação Cruzada para os períodos de 2000/01 e 2001/02.	49
Figura 20. Validação Cruzada para os períodos de 2002/03 e 2003/04.	49
Figura 21. Validação Cruzada para os períodos de 2004/05 e 2005/06.	49
Figura 22. Validação Cruzada para os períodos de 2006/07 e 2007/08.	50
Figura 23. Validação cruzada para os períodos de 2008/09 e 2009/10.	50
Figura 24. Validação Cruzada para o período de 2013/14 e Média Decenal 2000/10.	50
Figura 25. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2000 – 2001.	52
Figura 26. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2001 – 2002.	53
Figura 27. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2002 – 2003.	54

Figura 28. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2003 – 2004.....	55
Figura 29. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2004-2005.	56
Figura 30. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2005-2006.	57
Figura 31. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2006-2007.	58
Figura 32. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2007-2008.	59
Figura 33. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2008-2009.	60
Figura 34. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2009-2010.	61
Figura 35. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2013-2014.	62
Figura 36. Média da precipitação acumulada entre os períodos hidrológicos de 2000 a 2010 na UGRHI-17.	63
Figura 37. Diferença da média de precipitação entre o período hidrológico de 2013-2014 e a média decenal de 2000-2010 na UGRHI-17.	64
Figura 38. Sem água, volume de cachoeira em Botucatu fica quatro vezes menor.	65
Figura 39. Investimento em irrigação no município de Avaré.	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Divisão Hidrográfica da UGRHI-17.	30
Tabela 2. Estimativas das demandas dos recursos hídricos em 2004:.....	33
Tabela 3. Estatísticas descritivas dos dados de precipitação na bacia hidrográfica do Médio Paranapanema.	41
Tabela 4. Parâmetros do variograma para os dados de precipitação dos períodos hidrológicos e média decenal.	45
Tabela 5. Predição de Erros dos mapas de precipitação na UGRHI-17 entre os períodos hidrológicos.....	51

RESUMO

O Estado de São Paulo, Brasil, vem sofrendo seu pior quadro de escassez hídrica desde o século 19, quando iniciou-se a medição da precipitação. O verão de 2013/2014 foi considerado um dos mais secos dos últimos 80 anos no Estado. Estimar a quantidade de chuva que incidiu em determinada região e computar a diferença em relação a períodos anteriores pode auxiliar o gestor de recursos hídricos não só no planejamento, mas também no processo de tomada de decisão. Frente a este cenário, o objetivo desse trabalho foi estimar a precipitação acumulada neste período de seca na região hidrográfica do Médio Paranapanema (UGRHI-17), importante polo hidroelétrico e agrícola do Estado de São Paulo. Mapeou-se os níveis de precipitação do ano hidrológico de 2013-2014 (setembro à agosto) utilizando dados do satélite Tropical Rainfall Measuring (TRMM) e comparou-se os resultados aos mapas da precipitação produzidos entre os anos de 2000 a 2010 com dados do mesmo satélite para verificar possíveis impactos da diminuição dos índices pluviométricos da região. Observou-se que o período hidrológico de 2013/2014 recebeu o menor índice de precipitação em relação aos períodos estudados sendo a porção leste da região a área mais afetada no que se refere a escassez hídrica.

Palavras-chave: Escassez, Precipitação, TRMM, Bacia hidrográfica, Sensoriamento Remoto

ABSTRACT

São Paulo State, Brazil has been facing the worst water crisis since 19th century, when precipitation measurement officially began. The summer of 2013/2014 was the driest in the last 80 years in the state. Estimate the amount of precipitation that occurred in a certain region and calculate the difference from other periods can help water manager not only on planning, but also in the decision-making process. The aim of this work was to estimate the accumulated precipitation during this dry period in the Médio Paranapanema hydrographical region (UGRHI-17), located at the western part São Paulo state, Brazil, an hydroelectrical and agricultural hotspot of the state. We mapped precipitation rates accumulated during 2013/2014 hydrological year (from September to August) using Tropical Rainfall Measuring (TRMM) satellite data and then we compared the results to precipitation maps produced between 2000 and 2010 using data from the same source to verify possible impacts in the deacresing precipitation rates of the region. It was observed that the hydrological period of 2013/2014 received the lowest precipitation rate in relation to the studied periods, the eastern portion of the region being the most affected area in terms of water scarcity.

Key-words: Water Shortage, Precipitation, TRMM, Watershed, Remote Sensing

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A água é um recurso natural indispensável à todas as formas de vida no planeta Terra. É a partir dela que o ser humano contempla suas necessidades básicas de sobrevivência. A preservação de uma fonte segura e contínua da água se transforma em uma precaução para o bem estar de toda a população quando se tem constatado um grande crescimento populacional desordenado, a crescente poluição dos recursos hídricos e a falta de conhecimento sobre as variabilidades climáticas.

A questão da diminuição hídrica que se faz presente em boa parte da população é uma pauta que deve receber maior atenção por parte dos consumidores desse recurso da mesma forma que se deve existir um comprometimento por parte de órgãos públicos e comunidade acadêmica para que se encontre medidas mitigadoras deste problema. Esta demanda torna-se necessária tanto numa escala global, quanto regional pretendendo-se relacionar os determinados fatores que contribuem ou não com a questão da disponibilidade hídrica.

A distribuição da água para as regiões geográficas acontece a partir do abastecimento das bacias hidrográficas. Desta forma possuem grande importância por ser uma área de captação natural da água precipitada que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída (TUCCI,1993). A precipitação além de promover o abastecimento dos rios atua como fonte de recarga dos aquíferos, que contribuem para a perenização dos cursos d'água.

As bacias hidrográficas exercem significativa importância para o abastecimento de água que é feito para a população que habita sua área de abrangência, fato que torna mais úteis estimativas feitas sobre a precipitação captada pela bacia. Essas estimativas contribuem no planejamento da Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos (UGHRI), em relação à quantidade de recursos hídricos disponíveis à população, a medidas que possam mitigar os impactos causados pela ausência de água, isto é, auxilia no Plano dos Recursos Hídricos, que está previsto no artigo 5º da Lei 9.433/97 (LEAL, 2012).

O planejamento de recursos hídricos, segundo Barth e Pompeu (1987), tem como finalidade a avaliação prospectiva das demandas e das disponibilidades desses recursos e a sua alocação entre usos múltiplos, de forma a obter os máximos benefícios econômicos e sociais. Campos e Sousa (2003) compreendem o planejamento como "a busca do melhor caminho para se atingir determinados objetivos. Por sua vez o plano é o documento que materializa, em textos, um

planejamento, e viabiliza sua materialização em termos de ações” (LEAL, 2012, p. 69).

A importância social e econômica da água intensifica o papel da bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento e gestão que pode ser analisada como um recorte espacial para o pesquisador abrangendo diversas atividades de interesse em sua área.

Com o passar dos anos, as técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento tornam-se cada vez mais atuantes, no que diz respeito auxiliar com mais praticidade a coleta de informações de inúmeros segmentos como por exemplo, o monitoramento da precipitação. Estas ferramentas exercem grande importância para a realização do planejamento e gestão dos recursos hídricos, uma vez que seus dados concretos estabelecem padrões para análise e previsão de eventos extremos que contribuem para a redução dos impactos sociais e econômicos.

A bacia escolhida para o seguinte estudo foi a do Médio Paranapanema, que fica localizada na região Centro – Oeste do estado de São Paulo. A bacia hidrográfica está representada pela Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos - 17 (UGRHI-17), com área total de 16.763 km². A UGRHI-17 possui população estimada de 663,899 habitantes contando com 46 municípios. Suas principais unidades hidrográficas são rio Pardo, Novo, Parí e Capivara.

Para que fosse realizada a estimativa de precipitação para toda a área da bacia da UGRHI-17, os dados foram obtidos através de sensoriamento remoto, utilizando a fonte de dados coletados pelo satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) e os mapas foram elaborados através de técnicas de geoprocessamento. A vantagem de utilização desse equipamento está relacionada a sua resolução espacial, pois permite a estimativa da precipitação para grandes áreas de maneira mais rápida e econômica.

O período hidrológico de 2013 – 2014 foi caracterizado por uma persistente estiagem na região Sudeste do Brasil, ocasionado por um bloqueio atmosférico. A falta de chuva, somada à ineficiência da administração por parte do governo do Estado de São Paulo, estendeu a crise para os anos seguintes afetando significativamente a recarga dos reservatórios de abastecimento populacional ao longo de toda a região.

O Estado de São Paulo possui uma grande malha de estações meteorológicas que são gerenciadas por órgãos públicos e privados, porém o mesmo não pode ser dito com relação a todo seu território fazendo com que os dados de estações contenham

erros de diversas fontes. O fato de não se obter uma malha regular de pontos de amostragem em bacias hidrográficas, faz com que as estimativas de precipitação não tenham uma boa precisão quando se realiza uma estimativa para áreas não amostradas.

Devido às condições de estiagem observadas no estado de São Paulo no período de 2013-2014 (COELHO et. al., 2016) se faz necessário um estudo relacionado as mudanças no regime de chuvas para a bacia hidrográfica do Médio Paranapanema.

Desta forma foi possível desenvolver os mapas para análise da distribuição espacial da chuva podendo estabelecer onde foram as áreas que mais sofreram com a estiagem, e assim planejar as ações para mitigar os efeitos extremos que venham acontecer no futuro.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo do trabalho foi estimar a precipitação acumulada na região hidrográfica do Médio Paranapanema (UGRHI-17) no período hidrológico (1 de setembro a 31 de agosto) de 2013/2014, a partir de dados coletados pelo satélite TRMM, e comparar o cenário com a média dos anos de 2000 à 2010 para o mesmo período.

2.2 Objetivos Específicos

- Elaborar um banco de dados do satélite TRMM para a área de estudo no período em análise;
- Realizar um estudo sobre a variabilidade espacial da precipitação para os verões estudados;
- Verificar qual o modelo teórico melhor se adequa a variância dos dados, para realizar a interpolação por Krigagem;
- Gerar os mapas de precipitação acumulada para o período estudado;
- Gerar um mapa de saldo de precipitação para identificação das áreas mais afetadas pela escassez hídrica.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Monitoramento da precipitação

A precipitação pode ser entendida como a água proveniente do vapor de água da atmosfera depositada na superfície terrestre sob qualquer forma: chuva, granizo, neblina, neve, orvalho ou geada (SILVA; CARVALHO, 2006).

Na concepção de COLLICHON (2006):

(...) A chuva é uma das variáveis atmosféricas mais difíceis de medir por causa da sua variação no espaço e no tempo. Os padrões de precipitação nos trópicos oscilam fortemente entre secas severas e cheias ocasionais. Mesmo assim, frequentemente, as chuvas não duram mais do que algumas poucas horas por evento.

A ocorrência da precipitação se dá através de uma soma de fatores relacionados com a dinâmica atmosférica e temperatura. O processo inicia-se com a chegada de ar aquecido e com umidade provenientes da evaporação e da evapotranspiração. Quando a massa de ar se resfria e a temperatura chega a valores suficientemente baixos, o vapor de água se condensa e a chuva pode ocorrer. Este resfriamento geralmente ocorre pela ascensão da massa de ar úmido dentro da atmosfera. Este processo de ascensão do ar na atmosfera influencia no tipo de chuva que irá acontecer, ou seja, realiza também a caracterização da precipitação.

Segundo AYOADE (2002), as precipitações podem ser do tipo:

- Ciclônicas (ou frontais), caracterizadas pela grande abrangência em área, longa duração e baixa a média intensidade, relacionando-se à entrada de frentes frias ou quentes;
- Convectivas, as quais abrangem uma área relativamente pequena, e são típicas do período de verão;
- Orográficas, condicionadas pela presença de uma barreira montanhosa, sendo chuvas de pequena intensidade, grande duração e abrangem uma pequena área.

A Agência Nacional de Águas (ANA) é uma das responsáveis pela publicação de informações compreensíveis da rede instrumental para o monitoramento de

precipitação. Atualmente a rede básica é composta por 2.448 estações, mas a distribuição espacial é muito variável. Adicionalmente, existem mais 5.789 estações operadas por outras entidades. Foram identificados pela ANA 163 estações com registros de mais de 40 anos que poderiam ser utilizados para estudar tendências nos regimes da precipitação no país.

Estimativas de precipitação são indispensáveis para uma série de aplicações, entre as quais o apoio ao entendimento dos mais variados regimes de chuva, a compreensão do ciclo hidrológico e aos estudos climatológicos e meteorológicos. Além disso, estimativas de precipitação são fundamentais para o planejamento estratégico não só dos recursos hídricos, mas também de todas as atividades que fazem uso desses recursos (ANGELIS *et al.*, 2006).

A quantidade e a distribuição da precipitação que incide anualmente sobre certa região é bastante importante, determinando o tipo de vegetação e influência à programação das atividades agrícolas, também em seu dimensionamento e operação de reservatórios, operação de sistemas hidrelétricos, geração de cenários de mudanças climáticas de vazões, produção agrícola, determinação da energia firme de sistemas hidrelétricos interligados (como o sistema brasileiro), sob influência de mudanças climáticas, entre outros. Assim, épocas de plantio e colheita, atividades mecanizadas e mesmo escolha de espécies e variedades de plantas estão intimamente relacionadas com o padrão de precipitação local.

A precipitação média sobre determinada área é concebida como sendo a lâmina de água de altura uniforme (usualmente em milímetros) que se estende sobre toda uma área observada, sendo associada a um período de tempo no qual se acumula a precipitação (minuto, hora, dia, mês ou ano) (CONTI, 2002). Geralmente, a estimativa da precipitação média em um contexto geográfico é realizada por meio de mensurações diretas e pontuais da precipitação acumuladas em um determinado espaço de tempo e posteriormente extrapoladas (ou interpoladas) para toda área considerada.

Tradicionalmente, a precipitação é medida em redes pluviométricas que contam com pluviômetros e pluviógrafos. No caso dos dados de precipitação de postos pluviométricos, a finalidade de seus registros é voltada para o estudo da relação intensidade duração-frequência tão importantes para projetos de galerias pluviais e de enchentes em pequenas bacias hidrográficas, possuem uma superfície receptora de 200 cm² (SILVA; CARVALHO, 2006). No que se refere aos pluviógrafos, estes permitem o alcance de valores relacionados à altura pluviométrica e a intensidade de precipitação,

sendo que, sua coleta é feita em um espaço de tempo de 24h, sempre no mesmo horário ou o mais próximo que puder.

Segundo de Angelis (2005):

Os pluviômetros espalhados pela superfície terrestre coletam informações precisas da precipitação somente para uma pequena área localizada no entorno do dispositivo. Para a estimativa de dados em áreas extensas exige-se uma grande rede de pluviômetros, que em certos casos é inviabilizado em áreas de difícil acesso.

De acordo com Collischonn (2006), modelar a distribuição do volume precipitado com informações pontuais frequentemente induz a erros. A distância entre estações é grande e as vezes pode ser até superior a 100km. No caso de bacias transfronteiriças, a informação de precipitação é limitada em países vizinhos, e no caso de precipitação sobre mares e oceanos, a informação é praticamente indisponível.

A precipitação também pode ser medida através do sensoriamento remoto, sendo o radar meteorológico um dos instrumentos que possibilita esse tipo de coleta. O seu uso é amplamente difundido em países desenvolvidos, porém extremamente restrito no país, estando localizados próximos a grandes centros urbanos, como São Paulo, Curitiba e Fortaleza. Nestes, os problemas de drenagem em pequenas bacias urbanas e a ocorrência frequente de fenômenos convectivos de grande intensidade justificam o investimento em um radar cujo possui uma área de abrangência limitada, porém, nenhum destes está ligado a projetos de simulação ou previsão de vazões em bacias de maior porte (COLLISCHONN, 2006).

O uso de radares meteorológicos de acordo com Conti (2002):

Constituem-se em um excelente meio para estimar a precipitação, contudo são muito pouco difundidos nos países em desenvolvimento, principalmente devido aos custos elevados do equipamento necessário. O princípio de funcionamento do radar meteorológico é bastante simples, baseando-se na intensidade da reflexão de um pulso de energia eletromagnética (emitido por uma antena) quando este encontra gotas de água e cristais de gelo em suspensão na atmosfera. Em contraste com as imagens de satélite que cobrem imensas áreas do globo, os radares meteorológicos atuam dentro de um raio diminuto (aproximadamente 180 km). No Brasil, atualmente, (...) dada a crescente necessidade de dados meteorológicos mais confiáveis, vislumbra-se um considerável incremento na utilização de radares meteorológicos no país.

Segundo CONTI, 2002 *apud* Barret, 2001, p. 13:

os radares meteorológicos se comparados às redes de postos pluviométricos, são mais capazes para demonstrar a distribuição espacial da precipitação, e também mais adequados aos trabalhos que necessitam de alta resolução temporal. Porém, o radar meteorológico necessita ser calibrado periodicamente com dados conhecidos de precipitação, sendo assim, tem a necessidade de ser acompanhado de postos pluviométricos convencionais.

Tratando-se do território brasileiro, o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE) é um dos principais órgãos geradores de informações sobre a quantidade, intensidade e distribuição das chuvas, em diferentes lugares e épocas do ano no Brasil, assim como Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), órgão do Ministérios da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, responsável também pelo monitoramento da mesma. Estes realizam atividades de extrema importância para o Brasil, representando assim a finalidade do monitoramento de precipitação.

3.2 Uso do Sensoriamento Remoto como fonte de dados

Com relação a seu histórico:

O sensoriamento remoto tal como conhecemos atualmente, surgiu em meados do século XIX, com a instalação de câmeras fotográficas em balões para registrar informações referentes a alvos localizados na superfície terrestre. No início do Século XX, com o uso de balões e aviões par levantamentos relacionados à localização de alvos de interesse, principalmente militares, passou a ser estratégico para os países e suas ambições territoriais. Ao longo daquele século muitos avanços foram feitos nesta área. Porém, somente em 1972 foi colocado em órbita o primeiro satélite com interesse exclusivamente ambiental, o ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite-1), denominado posteriormente de Landat 1. (PIROLI; ZANATA, 2012, p. 2928).

A literatura oferece diversas definições para o sensoriamento remoto. Ritchie e Rango (1996) *apud* Collischonn (2006), definem o sensoriamento remoto (SR) como sendo a ciência e a arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno através de análises de dados adquiridos por um sensor que não está em contato direto com o objeto de investigação.

Jensen (2009) define o sensoriamento remoto como a medição ou aquisição de informação de alguma propriedade de um objeto ou fenômeno, por um dispositivo de registro que não esteja em contato físico com ele.

Já Mendes (1990), considerando essas definições abrangentes, prefere defini-lo como sendo a utilização conjunta de sensores, a bordo de aeronaves ou espaçonaves, equipamentos para transmissão dos dados coletados pelos sensores e equipamentos para processamento dos mesmos, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre por meio das interações entre energia eletromagnética e os elementos que compõem a superfície da terra e a atmosfera. Novo (1992) aborda o objetivo do sensoriamento remoto para estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das relações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

A principal fonte de energia para os sistemas sensores atualmente em operação é o Sol. Este gera radiação a partir das reações termonucleares, ocorridas na fusão nuclear. Esta energia prolonga-se através das ondas eletromagnéticas, que após interagirem com a atmosfera e com os componentes da superfície, são refletidas e tem sua intensidade gravada pelos sistemas sensores (PIROLLI, 2013).

Os sensores utilizados em sensoriamento remoto podem ser classificados em passivos ou ativos, conforme a fonte de energia que utilizam para imagear os alvos terrestres. Os sensores passivos não possuem uma fonte própria de radiação, utilizando-se da radiação solar refletida ou emitida pelos alvos. Os sensores ativos possuem sua própria fonte de radiação eletromagnética, tal como as ondas de radar (Radio Detection And Ranging). Desta forma, os satélites com sensores ativos geram ondas eletromagnéticas em direção à superfície terrestre para posteriormente captar as quantidades destas ondas que retornaram ao sensor. (CONTI, 2002, p. 16)

Segundo Rosa (2009) o fluxo de radiação eletromagnética, ao se propagar pelo espaço, pode interagir com superfícies ou objetos, sendo por estes refletido, absorvido e/ou reemitido. Este fluxo depende das características físico-químicas dos elementos irradiados, e o fluxo resultante constitui uma valiosa fonte de informações a respeito daquelas superfícies ou objetos.

Estas informações chegam até os detectores instalados nos sensores na forma de diferentes intensidades de radiação, que são registradas como níveis de sinais, a partir da focalização da luz proveniente da cena sobre a matriz de detectores. Os fótons de luz que iluminam cada um dos detectores produzem uma carga elétrica diretamente relacionada com a quantidade de

energia radiante incidente. Este sinal é eletronicamente amostrado e convertido num valor digital de brilho que varia de 8 bits (valores de 0-255) a 12 bits (valores de 0 a 4095) (PIROLI, 2013, p.17).

Os valores de brilho podem ser armazenados e são interpretados pelos computadores no formato de imagens de satélite. Possuem resolução espacial, radiométrica, temporal e espectral.

A resolução espacial pode ser definida como sendo a capacidade do sensor de distinguir alvos entre si. Novo (1992) informa que a resolução espacial mede a menor separação angular ou linear entre dois objetos baseado na capacidade de imageamento da menor área da superfície. Um sensor com resolução de 250m possui baixa resolução se comparado a um sensor com resolução espacial de 1m, por exemplo.

A resolução radiométrica segundo Figueiredo (2005), está relacionada a faixa de valores numéricos associados aos pixels. Este valor numérico representa a intensidade da radiação procedente da área do terreno correspondente ao pixel e é chamado de nível de cinza, expresso em bits.

Resolução temporal indica o intervalo de tempo que o satélite leva para voltar a recobrir determinada área de interesse. Esta resolução depende da largura da faixa imageada no solo por um sensor ou pelo número de sensores instalados na plataforma orbital. Essa resolução também depende das características orbitais da plataforma (altura, velocidade e inclinação), e o ângulo de imageamento do sensor.

A resolução espectral está relacionada a medida de largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em diferenciar entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno (NOVO, 1992). Este sensor tem a capacidade de detectar mudanças no comportamento espectral em menores regiões e está relacionada com a quantidade de bandas e a largura das mesmas.

As imagens obtidas através do sensoriamento remoto proporcionam uma visão de conjunto multitemporal de grandes áreas da superfície terrestre. Este cenário sinóptico da paisagem ou do meio ambiente viabiliza estudos regionais e integrados que envolvem vários campos do conhecimento (FLORENZANO, 2007).

Rosa (1995) retrata que a extensão do território brasileiro e o pouco conhecimento de recursos naturais, aliado ao custo de se obter informações através de

métodos mais convencionais, são fatores decisivos para o país se integrar no programa de sensoriamento por satélite.

Os dados de sensoriamento remoto têm extensa aplicação na descrição quantitativa de bacias hidrográficas e redes de drenagem. Assim, uma série de estudos morfométricos, antes realizados a partir de dados extraídos de cartas topográficas, passou a ser feito com referência em dados de sensoriamento remoto, coletadas através das imagens fornecidas pelos sensores (NOVO, 1992).

Como a precipitação é variável decisiva da quantidade de um modelo hidrológico e o sensoriamento remoto parece dar uma contribuição significativa na representação da distribuição temporal de eventos de chuva, surge um espaço para pesquisa científica em hidrologia, ou seja, procurar assimilar as estimativas de satélite no âmbito de um modelo hidrológico robusto, de forma a diminuir e ganhar confiança nos resultados do mesmo (COLLISCHONN, 2006).

Diversas metodologias para estimativa de precipitação por meio de imagens de satélite vêm sendo propostas. Essas metodologias se baseiam em imagens feitas por vários satélites, em diversas bandas do espectro eletromagnético. Destacam-se os satélites da série GOES (Geostationary Operational Environmental System) e o satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), este último com o objetivo específico de medição de precipitação nos trópicos, sendo ele o utilizado no presente trabalho.

3.3 O satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission)

O satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) é um projeto em parceria entre a NASA (National Aeronautics and Space Administration) e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA), está em órbita desde 27 novembro de 1997, com o objetivo de monitorar e estudar a precipitação nas áreas tropicais (Collischonn et al., 2007). Este satélite apresenta órbita polar e monitora eventos de chuva, nuvens, raios dentre outras características do ciclo hidrológico entre os 35 graus de latitude Norte e Sul, executando 16 órbitas por dia.

O TRMM possui órbita não-heliossíncrona baixa (cerca de 403 km) possibilitando alta resolução espacial temporal. Os instrumentos a bordo do satélite (figura 1) são: imageador de micro-ondas (TMI), radiômetro no visível e no infravermelho (VRS), radar

de precipitação (PR), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e sensor imageamento de relâmpagos (LIS) (Silva 2011).

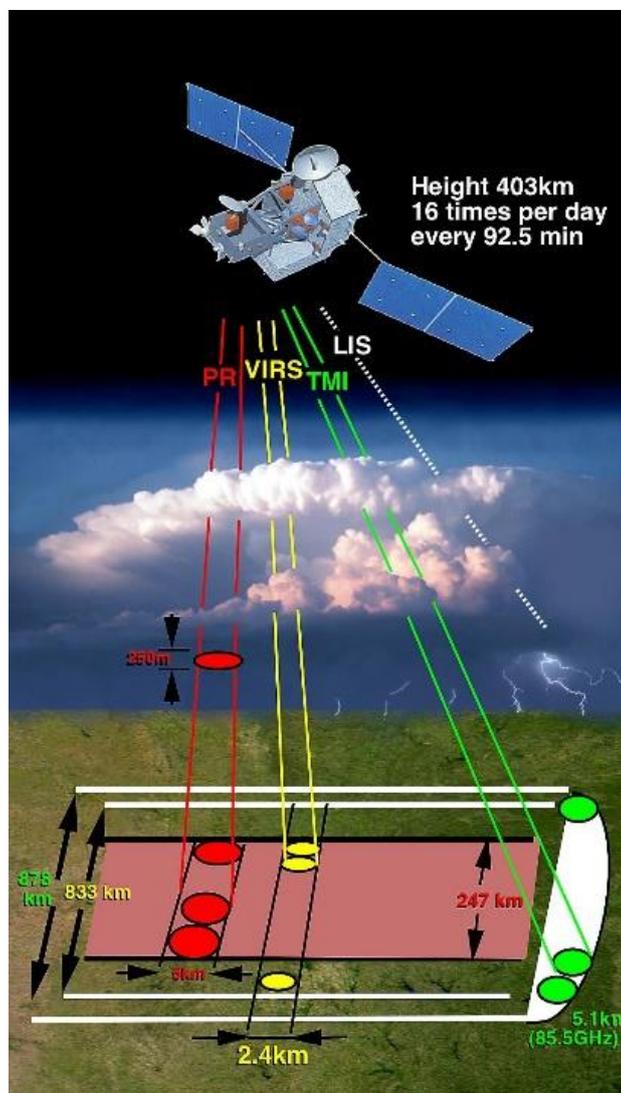


Figura 1. Representação esquemática da aquisição de dados estimados pelo satélite Espacial TRMM.

Fonte: <https://trmm.gsfc.nasa.gov/overview_dir/background.html>

O sensor utilizado para este trabalho foi o radar de precipitação (PR), que proporciona informações sobre a intensidade, o tipo de precipitação, a variabilidade espacial da chuva, a profundidade e a altura que os cristais de gelo se transformam em chuva.

O radar de precipitação dispõe de uma resolução horizontal de 5km e uma largura de faixa de 247 km e é o pioneiro com capacidade de produzir mapas

tridimensionais das nuvens de precipitação. De acordo com Leivas et al. (2009) apontam que, em função de ser o satélite mais bem equipado em termos de instrumentos para a estimativa de precipitação, o TRMM proporciona estimativas mais precisas do que as técnicas indiretas, baseadas em imagens de outros satélites.

Os dados de precipitação são procedentes do algoritmo 3B42 do satélite TRMM, que segundo Silva (2011) se baseia no calor das nuvens para estimar o potencial pluviométrico e faz medições de três em três horas, com resolução de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$. Os dados são gravados em arquivo HDF, porém podem ser obtidos em formato ASCII.

Uma grande gama de trabalhos vem evidenciando a precisão do satélite TRMM para estimativas de precipitação através do sensor PR (Precipitation Radar) sendo: Adler et al., (2001); Fisher (2004); Short et al. (2000), Nicholon et al. , (2003); Nóbrega (2008); Collischonn (2006).

Em comparação dos dados do TRMM com os de estações meteorológicas apresentam compatibilidade de informações (PEREIRA, et al. 2013). Neste estudo os dados estimados pelo satélite foram comparados com os dados coletados em 183 estações meteorológicas, no Brasil, no período de 1998 e 2010 sendo que seu resultado apresentou 97% de equivalência com variação sazonal correspondente.

Outro estudo semelhante realizou estimativas de precipitação com os dados fornecidos pelo TRMM na região do Vale do Médio Paranapanema em comparação aos dados fornecidos em estações de superfície da mesma área para o período de 1998 a 2008 (SILVA, et al. 2013). Os resultados encontrados demonstraram alta correlação entre os dados, afirmando, a confiabilidade do satélite quando há ausência de estações meteorológicas.

Além de informações obtidas através da tecnologia espacial, a análise das interações entre o meio ambiente e a sociedade, devem ser sustentada por um banco de dados consistente. Para monitorar e mapear as variações são necessários programas computacionais que permitam a inclusão de diferentes aspectos, capturando, armazenando e modificando as informações. Com isso, destacam-se ferramentas como o SIG e o Geoprocessamento.

Os SIG's são sistemas computacionais capazes de realizar tratamentos de dados geográficos. Seu funcionamento é baseado na localização da superfície terrestre em distintas projeções cartográficas, apresentando um leque de aplicação, como na agricultura, no monitoramento de florestas, na gestão urbana etc. Basicamente os SIGs são utilizados para o propósito de criação de mapas; apoio em análises espaciais de

fenômeno e banco de dados, armazenando e recuperando informações geográficas espaciais (ASSAD, 1998).

Segundo Rosa (2005) os dados utilizados em um SIG podem ser originários de diversas fontes, classificadas genericamente em primárias (levantamento direto no campo ou produtos obtidos por sensores remotos) e secundárias (mapas e estatísticas), que são derivadas das fontes primárias.

Já o Geoprocessamento é a soma de métodos, técnicas e conceitos sobre uma base de dados georeferenciada, resultado da integração das informações obtidas por com o auxílio da computação eletrônica, afim da obtenção de uma análise crítica dos dados ambientais determinados a partir de informações espaciais, capazes de originar conhecimento ambiental com o papel de suporte as tomadas de decisões relacionadas a tudo que pode ser encontrado nos meios socioeconômicos, físicos e biótipos (SILVA, 2009).

Rodrigues (1993), afirma que o geoprocessamento é um conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais voltadas para um objetivo específico.

Para que as estimativas de precipitação coletadas do satélite fossem melhor demonstradas e interpretadas, a incorporação de análises geoestatísticas foram fundamentais para o alcance de tal objetivo. Os procedimentos referente as análises de precipitação foram realizadas no software Gs+ v.7 e posteriormente inseridas em ambiente SIG através do software ArcGis 10.3.

3.4 Variabilidade Espacial

Fenômenos naturais apresentam frequentemente uma certa estruturação na variação entre vizinhos, desta forma afirma-se uma não aleatoriedade entre os fenômenos que apresentam algum grau de dependência espacial. (GUIMARÃES, 2004). Segundo Mata (1997), se a distribuição espacial das amostras for observada e levada em consideração é possível tirar proveito da variabilidade espacial.

A variabilidade espacial pode ser analisada por meio das ferramentas proporcionadas pela geoestatística, que se fundamenta na teoria das variáveis regionalizadas, onde os valores de uma variável está relacionada à sua disposição espacial sendo que as observações tomadas a curta distância se assemelham mais do

que as tomadas em distâncias maiores. (VIEIRA et al., 1981; VAUCLIN et al., 1983 *apud* SILVA 2011).

A estatística básica não leva em consideração a localização das amostras para estruturação das análises, dessa forma a geoestatística surge como uma metodologia pertinente para a representação e interpretação de amostras que possuam dependência espacial. Desta forma se considera a variação espacial dos dados e não somente a análise numérica, contribuindo uma melhor representação da realidade devido à dependência espacial das amostras.

A base da geoestatística vem da teoria das variáveis regionalizadas. De acordo com esta teoria, a diferença nos valores de uma dada variável tomados em dois pontos no campo amostral depende da distância entre eles (MATHERON, 1962 *apud* SILVA 2011). Compreende-se por variável aleatória regionalizada aquela que pode tomar valores diferentes em diferentes lugares de observação, mostrando desta forma uma determinada independência de um lugar a outro (GUERRA, 1988).

A diferença entre os valores de uma amostra em dois pontos mais próximos no espaço será menos que a diferença entre os valores tomados em dois pontos mais distantes. Desta forma, cada valor carrega consigo uma grande interferência dos valores de sua vizinhança, demonstrando uma continuidade espacial (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989).

A dependência espacial entre os dados é a base conceitual da análise geoestatística. Assim compreende-se que entre uma amostra de dados, os mais próximos são mais semelhantes em comparação com todo o conjunto. A precipitação é uma variável regionalizada, pois assume um determinado comportamento com relação a sua posição no espaço (SILVA, 2011).

Conforme Landim (1998), a geoestatística está inserida à uma vertente da estatística aplicada que trata de problemas referentes as variáveis regionalizadas apontando características intermediárias entre as variáveis casuais e as determinísticas. São representadas por funções numéricas ordinárias que assumem valor definido a cada ponto no espaço, descrevendo matematicamente um fenômeno natural.

Para realização de análises geoestatísticas, como regra prática, adota-se a mínimo de 30 pares de dados de uma amostra devido à exigência para construção do variograma, porém quanto maior for o número de dados utilizados, maior será a acurácia dos resultados (SILVA, 2010).

Um dos métodos para se estimar a dependência no espaço ou no tempo de amostras vizinhas é por meio da autocorrelação. Quando a amostragem envolve duas direções (X_i , Y_i) o instrumento preferencialmente indicado na estimativa da dependência entre amostras é o variograma (SILVA, 1998).

O variograma analisa o grau de dependência espacial das amostras e indica os parâmetros necessários para uma suposição de valores para locais que não possuem amostras. Considerando que $Z(x)$ corresponda ao valor da variável para local x , onde x é o vetor (x,y) e $Z(x+h)$ representa o valor da mesma variável para alguma distância h , em qualquer direção. O variograma resume a continuidade espacial para todos os pareamentos (comparação entre dois valores) e para todos os h significativos. Neste procedimento se utiliza a interpolação por Krigagem (SILVA, 2011).

O variograma é um mecanismo de suporte às técnicas de Krigagem, que permite representar quantitativamente a variação de um fenômeno regionalizado no espaço. Ele mostra a medida do grau de dependência espacial entre as amostras ao longo de um suporte específico e expressam o comportamento da variável regionalizada. (LANDIM, 1998).

Os parâmetros do variograma são o efeito pepita, o patamar e o alcance. O efeito pepita está atribuído a erros de medição ou ao fato de que os dados não foram coletados a intervalos bastante pequenos para demonstrar o desempenho espacial subjacente do fenômeno de estudo (LANDIM, 1998).

Quando o efeito pepita é menor que a distância entre as amostras acontece o que pode ser chamado de efeito pepita puro e se faz necessário uma reamostragem dos dados a distâncias inferiores. O alcance demonstra até onde existe dependência espacial entre os dados da amostra e o patamar é o ponto onde a partir dele, todos os dados são aleatórios e não possuem mais dependência (SAFRE, 2015).

A interpolação dos dados é feita através do método de Krigagem. Segundo Silva (2011), é o método de interpolação geoestatística que usa a dependência espacial expressa no variograma entre amostras vizinhas para estabelecer valores em qualquer posição dentro do campo, sem tendência e com variância mínima.

Três características distinguem a Krigagem dos outros métodos de interpolação. Sendo estas: poder fornecer uma estimativa maior ou menor que o valor das amostras; tem a vantagem de usar a distância e a geometria entre as amostras; e, leva em conta a minimização da variância do erro esperado por meio de um modelo empírico expresso pelo variograma (ROSSI et al. 1994).

A krigagem faz uma descrição mais acurada da estrutura espacial dos dados que segundo Carvalho et al. (2002), produz valiosa informação sobre a distribuição da estimativa do erro. Isso decorre do fato de ser uma série de técnicas de análise de regressão, que em seu processo de estimativa visa minimizar a variância entre os dados, levando em conta a dependência dos dados.

3.5 A bacia hidrográfica do Médio Paranapanema (UGRHI-17)

A questão fundamental em se ter uma bacia hidrográfica como unidade de gestão está relacionada ao ponto de vista delimitador que se forma pela hierarquização dos corpos hídricos, que abordam diversos aspectos de um ecossistema.

Segundo Garcez e Alvarez (1988), as bacias hidrográficas correspondem a uma área definida e fechada topograficamente num ponto de curso de água, de forma que toda vazão afluyente possa ser medida ou descarregada através desse ponto. As características topográficas, geológicas, geomorfológicas, pedológicas e térmicas, bem como o tipo de cobertura da bacia hidrográfica, desempenham papel essencial no seu comportamento hidrológico, sendo necessário serem medidas numericamente algumas dessas características.

Este tipo de delimitação natural facilita na demarcação física da bacia hidrográfica, viabilizando um tipo de gestão integradora que relaciona tanto as questões ao meio ambiente, quanto às características sócio espaciais que ali existem.

Uma bacia hidrográfica é formada por rios e córregos de diferentes ordens, pelos quais seguirão para um canal comum que provavelmente levará ao nome dessa bacia. Esses rios são caracterizados por aspectos diferenciados determinados pelos locais por onde percorre. Assim, a bacia hidrográfica apresenta uma unidade de gestão integradora, considerando a multiplicidade de variações que cada região possui relacionando às dinâmicas naturais (CARVALHO, 2014).

Dessa forma uma bacia hidrográfica pode ser frequentemente utilizada como referencial geográfico para a adoção de práticas de planejamento ou manejo e aproveitamento de recursos naturais. Dada a grande importância da água como via de circulação para transporte, geração de energia elétrica, abastecimento urbano e industrial, diluição de efluentes domésticos e industriais, a bacia hidrográfica tem se tornado em uma unidade básica para o planejamento e gestão ambiental (PARIZOTTO, 2008).

A lei nº 9.433 do Sistema Nacional de Recursos Hídricos, de 8 de janeiro de 1997, elaborou a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e implementou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGRH) no Brasil (BRASIL, 1997).

No art 1º desta lei, apresenta a bacia hidrográfica como unidade territorial para implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, sua gestão deve ser descentralizada e contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades. Os Comitês de Bacia hidrográfica são entidades integrantes do Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos, mencionado no artigo 33, da lei 9.433/97.

As Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos são unidades territoriais criadas com o intuito de permitir a gestão descentralizadora dos recursos hídricos. Ao total são 22 unidades (no Estado de São Paulo) que têm como base uma bacia hidrográfica e a divisão territorial foi feita através de características geológicas, hidrológicas, hidrogeológicas parecidas, além dos aspectos socioeconômicos e políticos regionais (MORAES, 2012, p. 13).

Segundo Carvalho (2014) utilizar a bacia hidrográfica como objeto de pesquisa, significa relacionar fatores de distintas áreas de estudo como importantes influenciadores na dinâmica de um ecossistema geográfico. Assim há a possibilidade de compreender áreas de estudo como Geomorfologia, Climatologia, Pedologia, além de prever aspectos sociais e econômicos em um mesmo espaço.

A bacia hidrográfica do Médio Paranapanema representada pela Unidade de Gerenciamento de Recursos hídricos (UGRHI-17) está localizada na porção Centro-Oeste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22º 14' e 23º 9' de Latitude e os meridianos 48º 21' e 51º 5' de Longitude com área total de 16. 763 km². (Figura 2)

A UGHRI-17 representa uma das 22 unidades de gerenciamento paulistas, com população estimada de 663.899 habitantes. Segundo o Plano da Bacia do Médio Paranapanema, atualmente 46 municípios pertencem ao Comitê das Bacias Hidrográficas do Médio Paranapanema (CBH-MP), sendo estes os seguintes: Águas de Santa Bárbara, Alvinlândia, Assis, Avaré, Cabrália Paulista, Campos Novos Paulista, Cândido Mota, Canitar, Cerqueira César, Chavantes, Cruzália, Duartina, Echaporã, Espírito Santo do Turvo, Fernão, Florínea, Gália, Iaras, Ibirarema, Itatinga, João Ramalho, Lucianópolis, Lupércio, Maracáí, Ocaçu, Óleo, Ourinhos, Palmital,

Paraguaçu Paulista, Platina, Quatá, Rancharia, Ribeirão do Sul, Salto Grande, Santa Cruz do Rio Pardo, São Pedro do Turvo, Tarumã e Ubirajara.

Outros 13 municípios possuem parte de seu território inserido no Médio Paranapanema, porém, com suas sedes fora da área da UGRHI-17, recebendo estes a denominação de “municípios com área contida”. Embora não pertençam à UGRHI-17, os mesmos possuem o direito de integrarem o CBH-MP, processo que acontece por meio da aprovação do Plenário do Comitê. Esses municípios são: Agudos, Bernardino de Campos, Borebi, Botucatu, Garça, Iepê, Ipaussu, Lençóis Paulista, Lutécia, Manduri, Marília, Piratininga e São Manuel.

REGIÃO HIDROGRÁFICA DO MÉDIO PARANAPANEMA (UGRHI-17), SÃO PAULO, BRASIL.

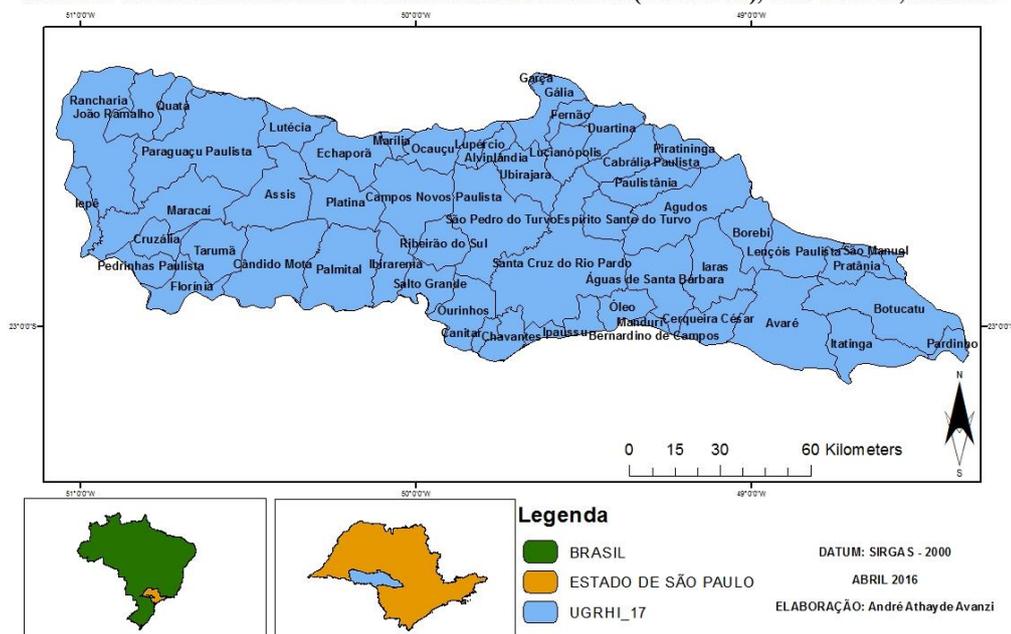


Figura 2. Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (UGRHI-17).

Elaborador: O autor, 2016.

Seus principais municípios polarizadores são: Ourinhos (106.521 habitantes), Assis (97.330 habitantes), Avaré (89.428 habitantes), Santa Cruz do Rio Pardo (44.674 habitantes) e Paraguaçu Paulista (44.307 habitantes). Todavia, nestes territórios é possível observar que já possuem problemas típicos de cidade urbana (esgoto, lixo, transporte etc).

Limita-se a leste com a UGRHI 10 (Rio Sorocaba e Médio Tietê); ao norte com as UGRHIs 13 (Tietê/Jacaré), 16 (Tietê/Batalha), 20 (Aguapeí) e 21 (Peixe); a oeste com

a UGRHI 22 (Pontal do Paranapanema) e ao sul com a UGRHI 14 (Alto Paranapanema) e o Estado do Paraná como representados na figura 3.

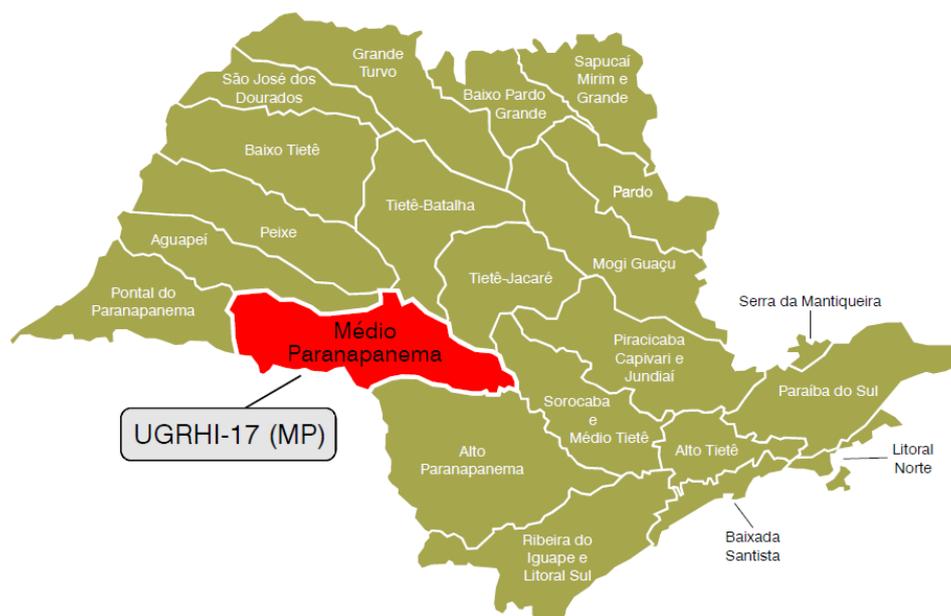


Figura 3. Situação da UGRHI-17 e demais unidades no Estado de São Paulo.

Fonte: Plano de Bacia da UGRHI-17, 2007.

A UGRHI-17 pertence à bacia do rio Paraná. Ela pode ser dividida em seis unidades hidrográficas (Figura 4) pela margem direita, os principais são:

- Rio Pardo cuja foz situa-se no reservatório de Salto Grande e tem como seu principal afluente o rio Turvo;
- Rio Novo que tem sua foz no mesmo reservatório acima citado;
- Rio Parí;
- Rio da Capivara que desemboca no reservatório de Capivara.

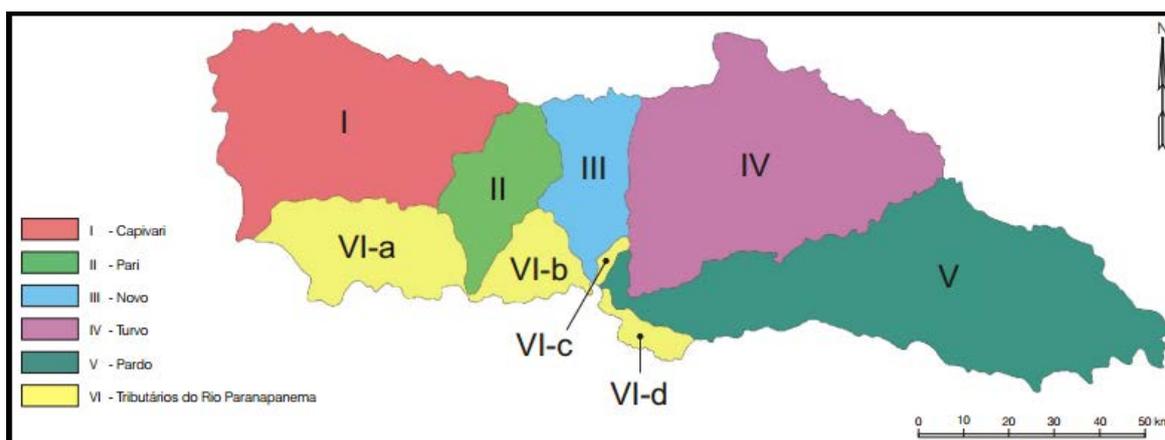


Figura 4. Unidades Hidrográficas principais da UGRHI-17.

Fonte: Plano de Bacia do Médio Paranapanema, 2007.

Organização: O autor, 2016.

Tabela 1. Divisão Hidrográfica da UGRHI-17.

Unidade hidrográfica	Área (Km ²)	%
Pardo	4.668,26	27,8
Turvo	4.236,18	25,3
Novo	1.098,85	6,6
Pari	1.029,07	6,1
Capivara	3.486,00	20,8
Tributários de até 3ª ordem do rio Paranapanema	2.244,64	13,4
Total UGRHI-17	16.763,00	100,0

Fonte: Sistema de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SIGRH – Relatório Zero (CPTI, 2000).

De acordo com o Plano da Bacia do Médio Paranapanema, sua formação geológica constituída por rochas sedimentares e ígneas da bacia do Paraná e depósitos sedimentares recentes, do cenozóico. Suas formações são compostas de 60% do arenito Bauru e quase 40% às rochas ígneas basálticas de Formação Serra Geral. Estas desencadeiam na formação dos seguintes aquíferos: o Bauru (de porosidade intergranular) e o Serra Geral (de porosidade de fraturas).

Segundo o Relatório Zero da Bacia do Médio Paranapanema, o relevo predominante na UGRHI-17 (Figura 5) é o de colinas amplas onde destacam-se interflúvios com área superior a 4 km², topos extensos e aplainados, vertentes com perfis retilíneos a convexos. Drenagem de baixa densidade, padrão subdendrítico, vales abertos, planícies aluviais interiores restritas, presença eventual de lagoas perenes ou intermitentes. Também apresenta frequentes transições com o relevo de colina média predominando interflúvios com áreas de 1 a 4 km², drenagem de média a baixa

densidade, padrão subretangular, vales abertos a fechados e planícies aluviais restritas. Ocorrem com pouca expressão morrotes alongados e espigões.

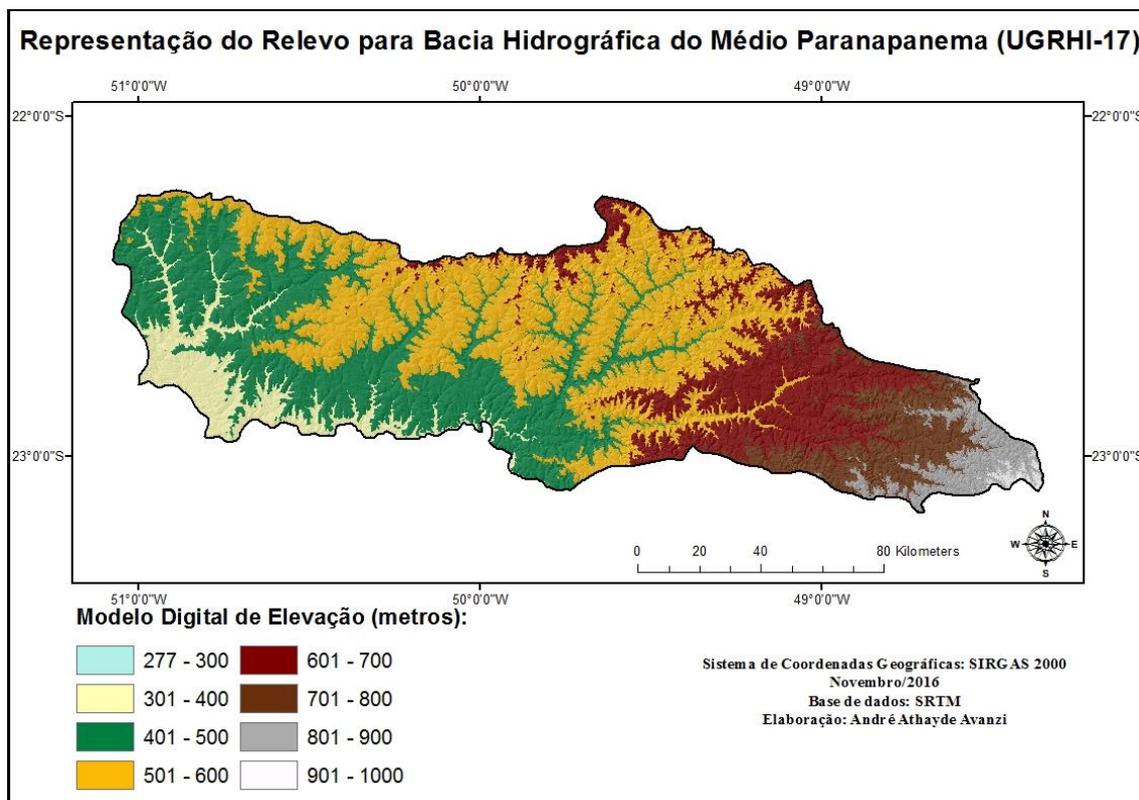


Figura 5. Representação do Relevo. Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (UGRHI-17). Elaborador: O autor, 2016.

O relevo de colinas não está restringido às regiões de domínio de rochas sedimentares (Grupo Bauru), como também presente em áreas de exposição do basaltos de Formação Serra Geral, como é o caso dos rios Paranapanema e Pardo, principalmente entre Assis, Ourinhos e Santa cruz do Rio Pardo.

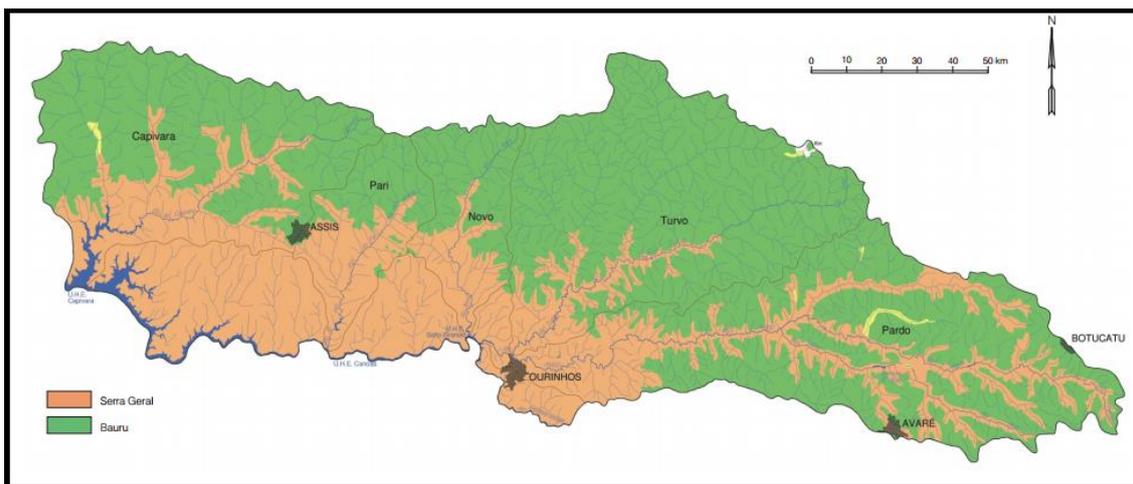


Figura 6. Principais unidades aquíferas atuantes na UGRHI-17.

Fonte: Plano de Bacia do Médio Paranapanema, 2007.

Organização: O autor, 2016.

De acordo com a CETESB (2004):

a UGRHI-17 apresenta quatro poços tubulares monitorados pela mesma, sendo três no aquífero Bauru (em Gália, Rancharia e Quatá) e um no aquífero Guarani (em Avaré), não havendo monitoramento no aquífero Serra Geral.

O sistema aquífero Guarani, maior reservatório de água subterrânea do Estado de São Paulo e um dos maiores de água doce do mundo, ocorre principalmente na condição confinada, com poços que podem produzir vazões da ordem de até algumas centenas de m^3/h . É constituído de arenitos eólicos e fluviais bem selecionados, das Formações Botucatu e Pirambóia, com espessura média de 300m. No Estado de São Paulo, mergulha para noroeste sob os basaltos e atinge profundidades de até cerca de 1.500m, podendo apresentar vazões por poço superiores a $500m^3/h$.

De acordo com o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH 2004-2007), a estimativa das demandas (fontes superficiais e subterrâneas) em 2004, chegou nos seguintes resultados:

Tabela 2. Estimativas das demandas dos recursos hídricos em 2004:

Categoria de Uso	Demanda (m³/s)
Urbano	1,67
Industrial	3,40
Irrigação	7,98
Total	13,05

Elaboração: O autor, 2016.

A disponibilidade potencial de águas subterrâneas ou as reservas totais exploráveis na UGRHI-17 são da ordem de 20,7 m³/s. Estes números devem ser considerados com cautela, a fim de auxiliar no planejamento racional do aproveitamento dos recursos hídricos. O seu principal uso consuntivo é o abastecimento público: nas captações superficiais, representa 58,5% (1,58m³/s) e nas captações subterrâneas, 75,5% (1,58m³/s). Além disso, são relevantes alguns usos não consuntivos, como a geração de energia elétrica e o lazer associado aos reservatórios.

Acerca do estudo pedológico da região, são encontrados solos arenosos nas áreas de nascentes localizadas na região Norte da bacia que serão, por consequência, mais susceptíveis ao risco de erosão. Na porção sul da bacia, é possível verificar solos argilosos férteis que são favoráveis à agricultura.

Para PINHATI (1998), as formas atuais de uso e ocupação do solo interferem diretamente, tanto no aspecto quantitativo como qualitativo das águas, superficiais e subterrâneas.

Conforme descrito no Plano de Bacia do Médio Paranapanema, a ocupação do solo é subdividida dentre algumas atividades:

- Culturas perenes: 2,2%;
- Áreas de culturas semi-perenes: 13,6%
- Áreas de culturas temporárias: 14,8%;
- Áreas de pastagens: 54,9%;
- Áreas de reflorestamento: 4,8%;
- Cobertura Vegetal Natural: 6,2%;
- Áreas urbanas: 1,0%;
- Outros usos: 2,5%.

Em seu aspecto agrícola, predominam-se as pastagens (mais de 50% em área), seguidas de culturas temporárias como a soja, milho, incluindo-se também a cana-de-açúcar.

De acordo com Vilas Bôas e Durigan (2004), há uma estreita relação entre a cultura da cana-de-açúcar e a intensificação dos processos erosivos, embora a análise dos anos anteriores demonstre que este processo não teve origem neste tipo de cultura. Apesar disso, acrescentam os autores, “há ocorrência de erosões profundas nessas áreas, mesmo em declividades abaixo de 6%”.

Todavia, seu processo de erosão decorre continuamente, abrangendo cinco categorias que seriam mais susceptíveis à erosão, sendo a porção centro-norte a área de maior suscetibilidade. Segundo o caderno síntese do plano de bacias do Médio Paranapanema, o CPTI, Cooperativa de Serviços e Pesquisas Tecnológicas (1999), identificou 993 ocorrências de erosões, das quais 275 rurais e 18 urbanas e 274 casos de assoreamento em corpos d’água.

No que se refere às indústrias na UGRHI-17, as principais são: sucro-alcooleira (segmento mais representativo), seguida de curtumes, frigoríficas e demais alimentícias, inclusive as feculárias. Quanto à silvicultura, destacam-se municípios da porção leste da UGRHI, como Itatinga, Iaras, Avaré e Águas de Santa Bárbara. Já a cultura canieira responde por mais de um terço do valor da produção agrícola na região, e a suinocultura que representa uma produção em torno de ¼ do total do Estado.

Outra característica do desenvolvimento urbano-regional consiste na manutenção de disparidades de potenciais entre os municípios envolvidos, uma vez que há favorecimento àqueles mais bem posicionados, tendo em vista as condições de acessibilidade e os recursos e equipamentos instalados (CPTI, p. 98, 2000).

A área de estudo sofre a influência de diversas massas de ar ao longo do ano, tendo um clima complexo, devido sua proximidade com o Trópico de Capricórnio, agregando assim essa dinâmica bem diferenciada para a região sudoeste do estado de São Paulo. Assim, é verificada a complexa configuração da UGRHI-17 entre seus fatores fisiconaturais relacionados aos socioeconômicos, fato esses que serão amplamente interferidos pela dinâmica das chuvas nessa região.

A caracterização climática da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema, segundo a classificação de Strahler, “Se enquadra no grupo dos climas

controlados pelas massas de ar tropical e polar em permanente interação (II Grupo) e no subgrupo do clima Subtropical Úmido das costas ocidentais e subtropicais, dominadas largamente pela massa tropical marítima (Tm), (CBH-MP, Relatório Zero, 2000).

De acordo com informações disponibilizadas pela Cooperativa de Serviços e Pesquisas Tecnológicas e Industriais – (CPTI, 2000) a região abrangida pela UGRHI-17 – Médio Paranapanema tem como característica de sua rede urbana, não incluir nenhum centro urbano de primeira escala de polaridade regional do Estado, correspondentes às sedes de Regiões Administrativas (RAs). Contudo, abrange três municípios, os quais são centros sub-regionais: Avaré, Ourinhos e Assis.

De acordo com a CPTI, são situadas na UGRHI-17 três usinas hidrelétricas (UHEs) a saber: UHE Lucas Nogueira Garcez (Salto Grande); UHE Canoas I e UHE Canos II, pertencentes à Cia. De Geração de Energia Elétrica Paranapanema da CESP. As UHEs de Canoas I e II tem previsão e entrada em operação ainda em 1999, e terão potência instalada de 82,5 e 72 MW respectivamente. Juntamente com a UHE Salto Grande (700,78 MW) em operação, somam 224,88 MW de potência instalada para UGRHI.

Segundo a CESP, os empreendimentos acima citados não possuem eclusa; portanto a navegação no rio Paranapanema está restrita à extensão dos reservatórios, os quais não possuem levantamentos batimétricos, nem tampouco sinalização náutica. No Médio Paranapanema, não ocorrem as barragens de regularização, pois as barragens existentes são tipo “ fio d’água.”

Sabendo que na sede da UGRHI há 42 municípios pertencentes, o Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema definiu como oito aqueles que contam com a presença de Unidades de Conservação (UC). Os municípios que compreendem essas unidades são: Águas de Santa Bárbara, Alvinlândia, Assis, Avaré, Duartina, Gália, Itatinga, Palmital e Pardinho.

Tratando-se dos problemas relacionados a UGRHI-17, foram destacados de acordo com o Plano de Bacia no Médio Paranapanema os seguintes impasses:

- Coleta e, principalmente, tratamento de esgoto;
- Resíduos sólidos;
- Erosão e assoreamento;

- Realização de estudos, aquisição e divulgação de dados e informações sobre temas relacionados aos recursos hídricos superficiais e subterrâneos;
- Gerenciamento de reservatórios do rio Paranapanema e uso múltiplo da água;
- Educação ambiental e unidades de conservação ambiental;
- Capacitação e fortalecimento da gestão participativa.

O mesmo relatório acrescenta ainda que:

“Estes temas devem ser considerados prioritários no Plano de Bacia e receber atenção contínua do CBH-MP, incluindo-se ainda, a questão da qualidade das águas e do controle e monitoramento das fontes de poluição de forma geral” (CPTI, 2007, p. 84).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Dados Disponíveis

Para que a análise sobre a precipitação e seus impactos provocados tivesse início, a utilização do satélite TRMM se fez necessária, o qual apresenta uma grande proficiência por gerar estimativas em curtos períodos de tempo e em grande escala.

Os dados de precipitação acumulada foram obtidos através dos produtos do algoritmo 3B42 do sensor PR (Precipitation Radar) do satélite TRMM, estão disponíveis gratuitamente no site da NASA pelo Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center (GES DISC) na plataforma Geospatial Interactive Online and Analysis Infrastructure (GIOVANNI), no portal TRMM Online Visualization and Analysis System (TOVAS) e disponibilizados no formato ASCII.

A precipitação acumulada (mm) foi agrupada por períodos, enfatizando seu período hidrológico no hemisfério sul, referente aos dias 01 de setembro à 31 de agosto do ano seguinte. Foram agrupados os seguintes períodos: 2000 a 2001; 2001 a 2002; 2002 a 2003; 2003 a 2004; 2004 a 2005; 2005 a 2006; 2006 a 2007; 2007 a 2008; 2008 a 2009; 2009 a 2010; 2000 a 2010 com intuito de se obter uma média decenal; e 2013 a 2014 para análise das anomalias.

Os dados foram organizados através de tabelas do software Excel, e posteriormente foi realizado uma análise geoestatística através do software GS+. Para elaboração do banco de dados em ambiente SIG, optou-se pela conversão para o datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul).

4.2 Análise Espacial

4.2.1 Análise Exploratória dos Dados

A análise exploratória dos dados consiste em resumir as estatísticas descritivas de tendência central e dispersão dos dados. Com base nesta análise introdutória foi possível obter a distribuição das frequências, o que permite a compreensão visual do comportamento da variável, e definir se a tendência de concentração dos dados é simétrica ou assimétrica.

Em seguida foi calculado a média aritmética dos valores, o desvio-padrão dos dados, os máximos e mínimos valores encontrados, o coeficiente de assimetria e curtose.

A média aritmética que foi calculada representa o cálculo de todos os elementos da amostra dividido pela quantidade de elementos existentes, resultando um valor médio que representa toda a amostra.

O desvio padrão atingiu um valor, produto da função que demonstrou a quantidade de variação presente em relação à média.

O cálculo da variância também incorporou a discussão dos resultados por ser o produto do desvio quadrático médio da média aritmética amostral.

A assimetria calculou o nível assimétrico dos valores da amostra e do histograma que foi gerado a partir desses valores.

Por fim, a curtose foi a última estatística a ser calculada no trabalho, calculo esse que possibilitou medir o alongamento do histograma.

4.2.2 Variografia

A variografia dos dados do TRMM foi realizada através do software geoestatístico GS+ v7 como ferramenta de determinação e análise da dependência espacial das amostras. Com base nestas análises foi possível representar quantitativamente a variação dos fenômenos na área de estudo.

A escolha do modelo utilizado foi pautada na forma considerada apropriada para uma menor variância dos dados, tendo sido utilizados diferentes parâmetros dependendo das características estatísticas do conjunto de dados, como o modelo gaussiano, esférico, exponencial e linear.

O alcance atingiu um valor numérico que representou a distância adquirida entre os pontos da amostra que estão correlacionados de forma espacial. Procurou-se ajustar uma distância padrão para os variogramas baseado na distância entre amostras do satélite e inspeção dos variogramas experimentais de cada período.

O valor concebido ao patamar foi resultado da medida da altura que o variograma apresentou da sua base até o limite do alcance, e o valor do efeito pepita transmitiu o quanto de descontinuidade está presente na origem do variograma.

As relações de anisotropia foram verificadas para medir a tendência que os elementos da amostra adquiriram, elementos esses que podem tender de uma forma mais intensa para uma determinada direção e menos intensa para outra.

4.2.3 Krigagem

Após o ajuste dos variogramas os valores foram interpolados pelo método de Krigagem Ordinária gerando os mapas que apresentam as médias de precipitação acumulada de cada ano.

Na interpolação por Krigagem os pesos são determinados baseados nos variogramas experimentais que medem a variância dos dados em função das distâncias das amostras. Além disto, a Krigagem fornece em média, estimativas não tendenciosas e com variância mínima. Os pontos mais próximos em relação aos mais distantes recebem maiores pesos na interpolação.

4.2.4 Validação Cruzada

A Validação Cruzada foi o método adotado para verificação das estimativas de erro nos variogramas ajustados. Foram verificadas medidas como a Média Padronizada (MS - Mean Standardized), Valor Médio Quadrático (RMS - Root-Mean-Square), Média do Desvio Padrão (ASE - Average Standard Error) e Valor Médio Quadrático Padronizado (RMSS - Root-Mean-Square Standardized). Considerou-se como melhor resultado aquele que apresenta MS próxima de zero, o menor de RMS possível, a ASE próxima da média padronizada e RMSS próximo de 1. O RMSS fornece uma medida da acurácia dos valores interpolados, que quando abaixo de 1 está subestimando e quando acima está superestimando os valores interpolados (JOHNSTON et al. 2001). Além desses parâmetros o coeficiente de determinação (R^2) foi utilizado para verificar o grau de dependência entre os valores mensurados e preditos no processo de validação cruzada.

4.2.5 Reclassificação via Álgebra de Mapas

Após a obtenção dos mapas interpolados dos anos de 2000 a 2010 e 2013 a 2014, foi aplicada a técnica de álgebra de mapas como proposto por (SAFRE; MANZIONE, 2015) utilizando a função *raster calculator* do *ArcGis* para obtenção do percentual de precipitação incidente na área de estudo com relação ao mapa médio decenal conforme a Equação 1:

$$Diferença \% = \frac{(Chuva\ 2013-2014)*100}{Chuva\ Média\ 2000-2010} \quad (1)$$

Por fim, o mapa contendo as anomalias de precipitação foi reclassificado, exibindo faixas com percentuais de variação. A palheta de cores, que apresenta cores primárias, foi determinada para salientar as áreas que apresentaram maiores e menores quantidades de precipitação.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Análise exploratória

A coleta das estimativas através do satélite TRMM possibilitou a demonstração de estatísticas descritivas para os mesmos valores, de todos os anos trabalhados (2000 à 2010, 2013-2014 e média decendial) (Tabela 3).

Tabela 3. Estatísticas descritivas dos dados de precipitação na bacia hidrográfica do Médio Paranapanema.

Ano	Média (mm)	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Assimetria	Curtose
2000 – 2001	1.524,03	69,42	1.316,20	1.677,14	-0,40	0,61
2001 – 2002	1.457,17	79,12	1.347,11	1.632,12	0,81	-0,27
2002 – 2003	1.424,11	91,01	1.253,21	1.578,88	0,00	-1,19
2003 – 2004	1.375,86	79,35	1.245,45	1.565,36	0,54	-0,62
2004 – 2005	1.384,50	123,00	1.103,66	1.581,66	-0,18	-1,14
2005 – 2006	1.270,31	79,34	1.111,05	1.460,01	0,45	-0,42
2006 – 2007	1.695,87	103,54	1.498,27	1.939,26	0,47	-0,36
2007 – 2008	1.361,41	127,217	1.101,59	1.652,65	0,12	-0,54
2008 – 2009	1.548,18	144,747	1.236,55	1.856,95	-0,24	-0,78
2009 – 2010	1.815,26	159,40	1.536,48	2.220,92	0,53	-0,16
2013 – 2014	1.215,56	130,20	956,49	1.598,13	0,04	-0,33
Média (2000 –2010)	1.485,67	39,95	1.369,33	1.557,43	-0,28	0,13

O menor valor encontrado na média foi com relação ao período hidrológico de 2013-2014, registrando 1215,56 mm, fato que foi justificado por ser o ano que apresentou menores índices pluviométricos. A maior média foi encontrada no período de 2009-2010, cujo atingiu a marca de 1815,26 mm. Esta amplitude deve-se ao fato deste período hidrológico estar sob influência do El Niño.

O ENOS (El Niño – Oscilação Sul) é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado pelo aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, o que afeta o clima regional e global e assim os regimes de chuva em regiões tropicais de latitudes médias.

O maior desvio padrão esteve presente no ano de 2009-2010, com 159,40 mm. A menor variação com relação aos períodos estudados foi registrada em 2000-2001, com apenas 69,42 e também na média decendial realizada do ano de 2000 à 2010, com 39,95. Essas variações podem ser justificadas pela maiores e menores quantidades de precipitação, recebidas nos períodos hidrológicos.

O período de 2013-2014 apresenta a menor mínima precipitada comparada a todos os demais, enquanto o de 2009-2010 representa o valor de maior máxima precipitada com 2220,92 mm de água.

Em relação à assimetria os períodos que contaram com assimetria negativa foram 2000-2001, 2004-2005, 2008-2009 e a média decendial. Com relação aos outros períodos apresentou-se uma assimetria positiva.

Todos os períodos analisados possuem um grau de alongamento platocúrtico com relação a curtose, ou seja, inferiores à 3.

As Figuras 7, 8, 9, 10, 11 e 12 apresentam os histogramas referentes às distribuições de frequência para a média e todos os períodos estudados. Os histogramas são utilizados para permitir uma visualização do comportamento da variável em estudo com relação a sua simetria.

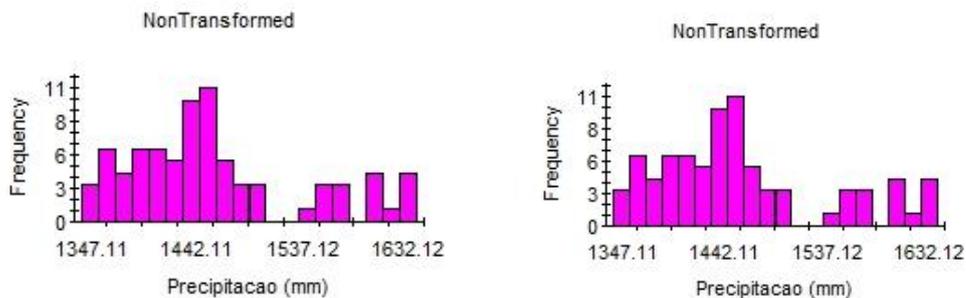


Figura 7. Histograma das precipitações dos períodos de 2000/01 e 2001/02.

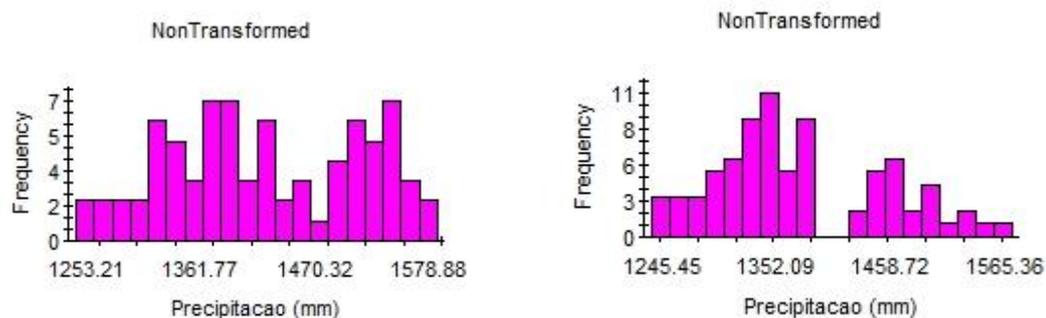


Figura 8. Histograma das precipitações dos períodos de 2002/03 e 2003/04.

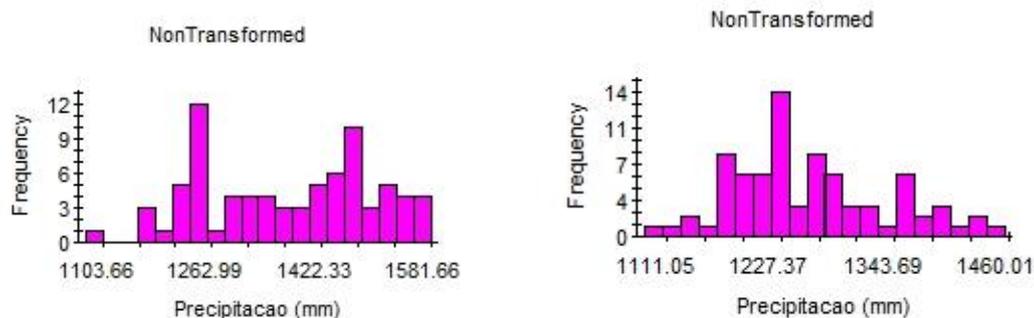


Figura 9. Histograma das precipitações dos períodos de 2004/05 e 2005/06.

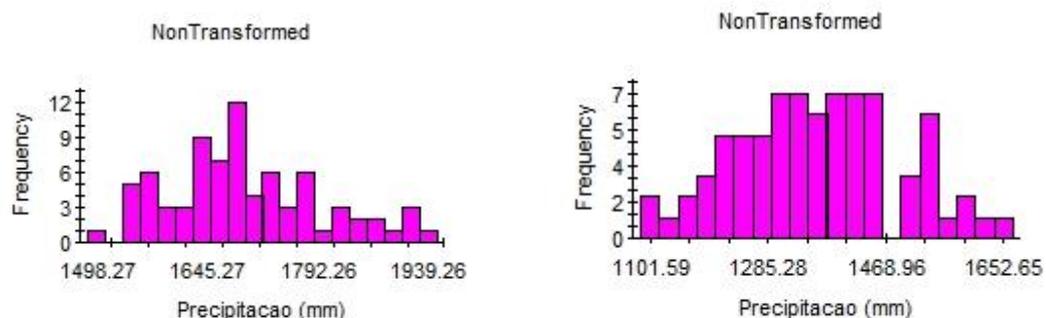


Figura 10. Histograma das precipitações dos períodos de 2006/07 e 2007/08.

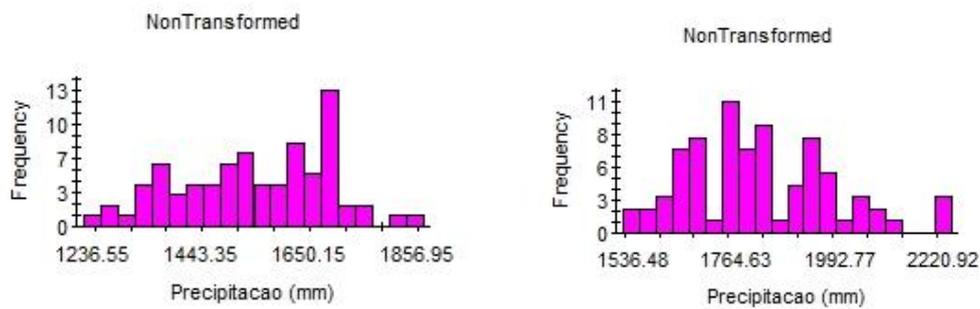


Figura 11. Histograma das precipitações dos períodos de 2008/09 e 2009/10.

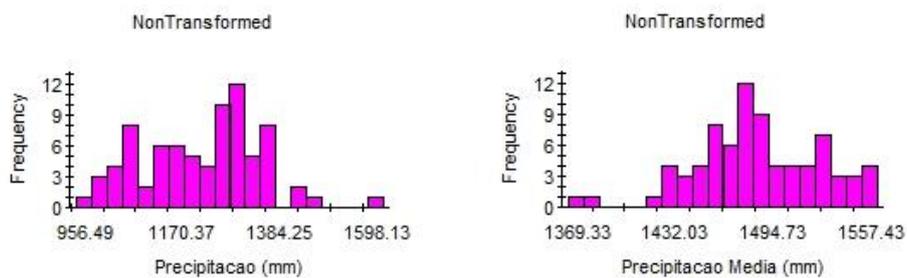


Figura 12. Histograma das precipitações do período de 2013/14 e Média Decenal 2000/2010.

A distribuições de frequência dos dados de precipitação mostraram-se tendendo a normalidade, com leves assimetrias, tanto positivas quanto negativas. Alguns anos como 2000/2001, 2001/2002 e 2003/2004 apresentaram divisões nas distribuições, similar a distribuições bimodais, mas com poucos dados em uma das extremidades, o que não permite essa conclusão.

5.2 Variografia

Verificou-se a variografia dos dados de todos os períodos amostrados. Desta forma foi possível analisar a relação de dependência espacial e continuidade espacial da variável de precipitação para cada período cuja as características (modelo, alcance, patamar, efeito pepita e anisotropia) estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros do variograma para os dados de precipitação dos períodos hidrológicos e média decenal.

Ano	Modelo	Alcance (km)	Efeito Pepita	Patamar	Coefficiente de Determinação
2000 - 2001	Esférico	1,57	260,00	5.929,00	0,99
2001 - 2002	Gaussiano	2,05	100,00	8.310,00	0,97
2002 - 2003	Gaussiano	1,57	10,00	1.2300,00	0,99
2003 - 2004	Gaussiano	1,30	330,00	6.373,00	0,98
2004 - 2005	Gaussiano	2,92	3080,00	30960,00	0,98
2005 - 2006	Gaussiano	1,75	2300,00	7.201,00	0,98
2006 - 2007	Gaussiano	0,65	240,00	12.150,00	0,96
2007 - 2008	Gaussiano	0,72	1530,00	15.260,00	0,99
2008 - 2009	Exponencial	2,23	10,00	26.740,00	0,96
2009 - 2010	Gaussiano	1,28	3070,00	32.840,00	0,93
2013 - 2014	Gaussiano	1,98	950,00	23.000,00	0,99
Média (2000 - 2010)	Esférico	2,53	225,00	2.149,00	0,98

O modelo utilizado na elaboração dos períodos estudados foi determinado de acordo com a melhor disposição em que os dados amostrados se adequavam a variância. Os modelos foram Esférico, Gaussiano, Exponencial e linear, sendo que o modelo Gaussiano foi o mais utilizado entre as amostras. Os modelos de variogramas podem ser observados nas Figuras 13, 14, 15, 16, 17 e 18.

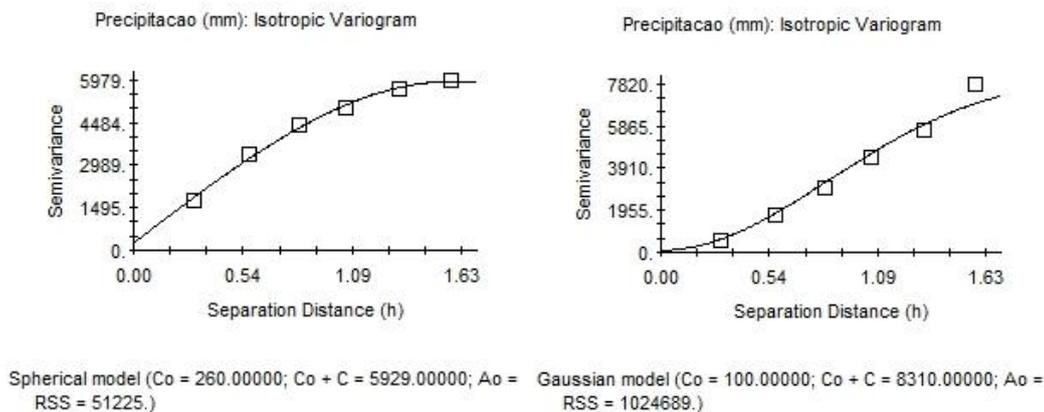


Figura 13. Variograma para os dados de precipitação nos anos de 2000/01 e 2001/02.

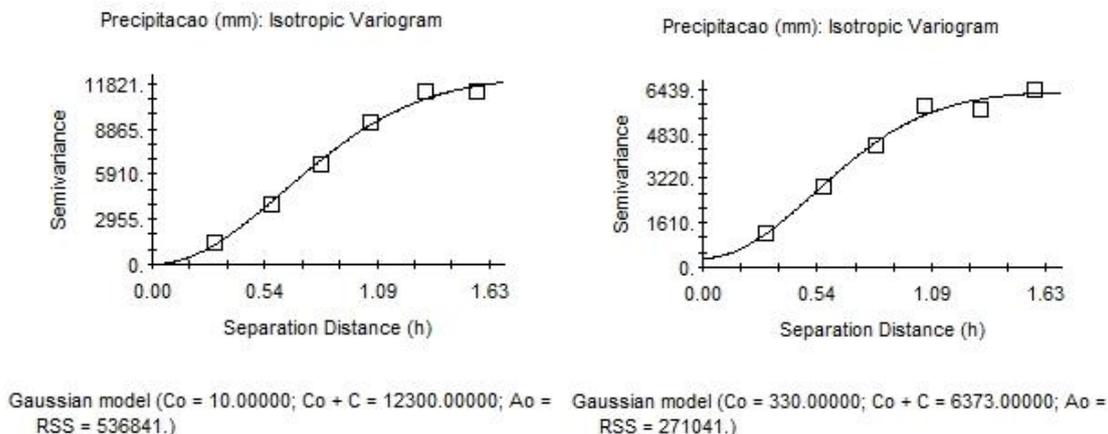


Figura 14. Variograma para os dados de precipitação nos anos de 2002/03 e 2003/04.

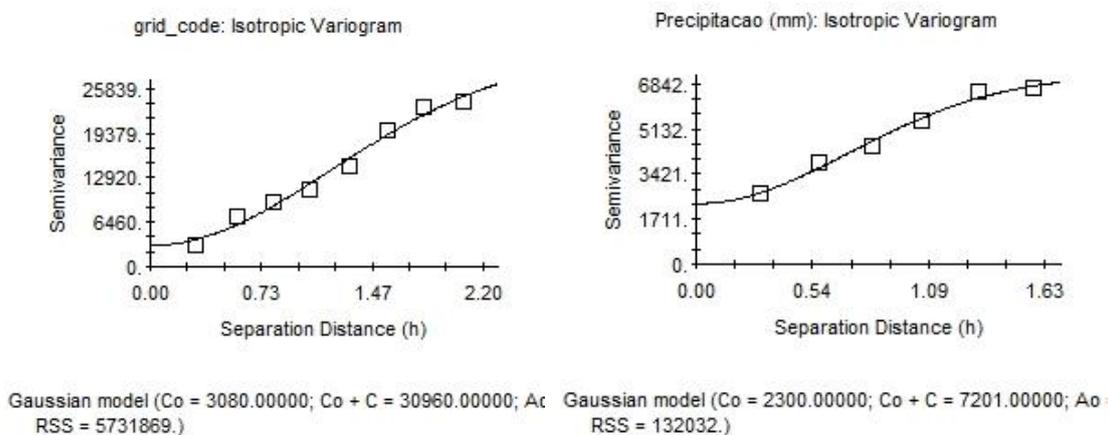


Figura 15. Variograma para os dados de precipitação nos anos de 2004/05 e 2005/06.

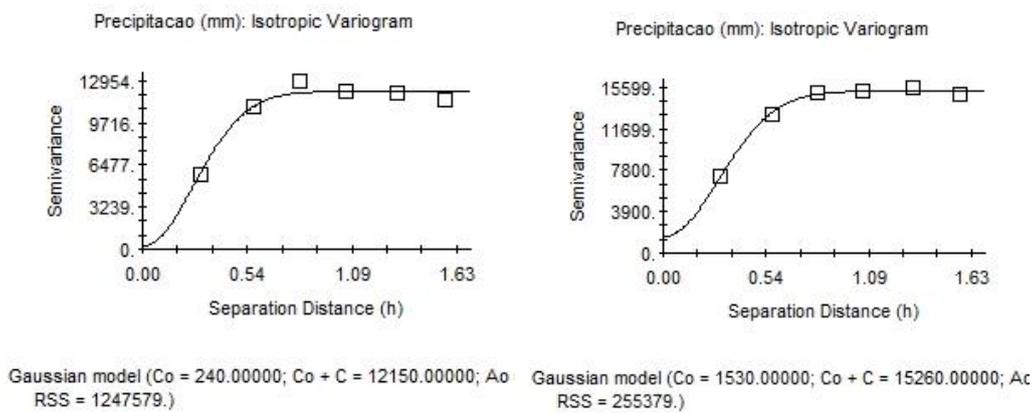


Figura 16. Variograma para os dados de precipitação nos anos de 2006/07 e 2007/08.

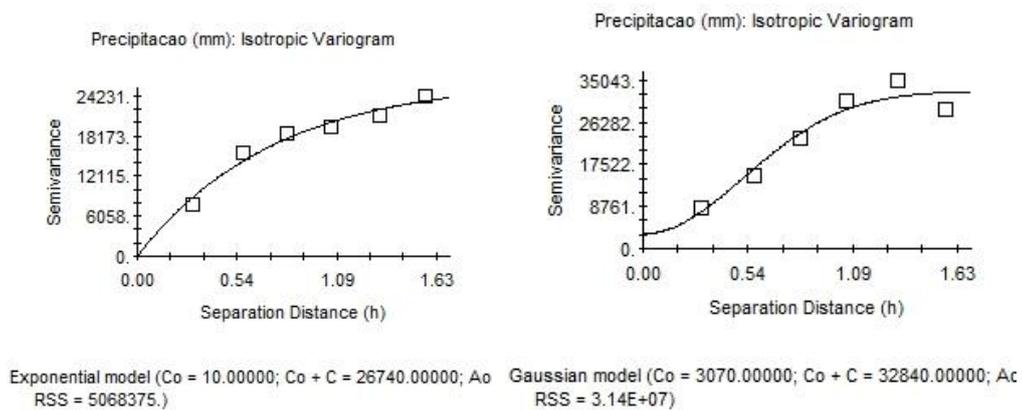


Figura 17. Variograma para os dados de precipitação nos anos de 2008/09 e 2009/10.

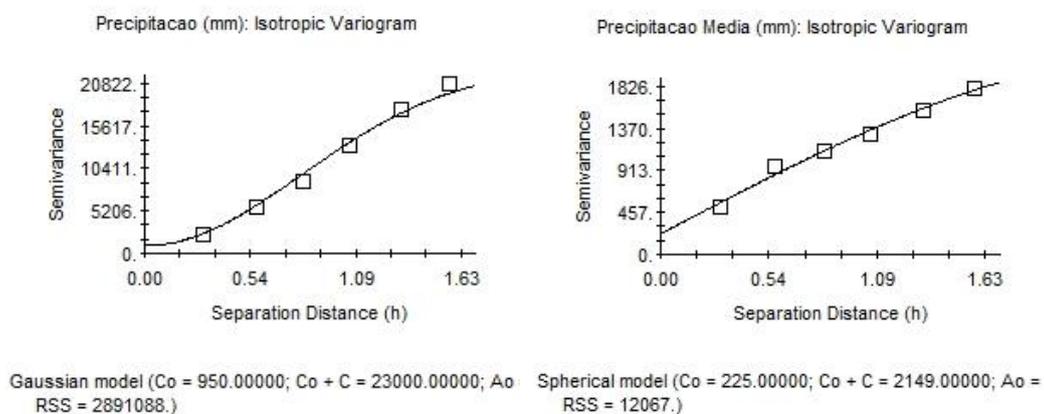


Figura 18. Variograma de precipitação nos anos de 2013/14 e Média Decenal 2000-2010.

Nos ajustes realizados, o alcance está relacionado à distância dentro da qual as amostras apresentam-se correlacionadas espacialmente, sendo que o valor máximo atingido foi de 2,53 km para as médias dos períodos. Os valores atingidos foram em torno de 0,6 à 2,5 km. O efeito pepita encontrado nas amostras atingiu valores altos, devido a distância entre as amostras que no caso do TRMM, são da ordem de 5km. Já o patamar relaciona-se ao valor do variograma correspondente ao seu alcance, demonstrou um maior valor atingido no período de 2009-2010 com aproximadamente 32840. O menor índice foi no período de 2004-2005 com a marca de -9,99.

O coeficiente de determinação (R^2) próximo da unidade aponta que os modelos conseguiram representar a variância dos dados e que podem ser utilizados na interpolação dos dados. Todos os valores encontrados foram superiores a 0,93, denotando um bom ajuste das funções aos dados do variograma experimental.

5.3 Validação Cruzada

Para confirmação dos dados estimados foi realizada a validação dos modelos teóricos. A validação cruzada é uma técnica para avaliar a capacidade de generalização de um modelo a partir de determinado conjunto de dados. O objetivo da validação foi estimar qual a precisão do modelo na prática. Esse processo informa qual o valor do coeficiente de regressão que pode ser entendido como o ajuste da equação de regressão linear entre os valores reais ou obtidos experimentalmente e os valores estimados pela interpolação.

O coeficiente de regressão ideal é o que chega próximo a 1 e o intercepto no eixo y ideal é próximo a 0 são parâmetros utilizados para determinar a validação cruzada.

A seguir, as Figuras 19, 20, 21, 22, 23 e 24 demonstram a validação cruzada dos períodos estudados e a média decendial.

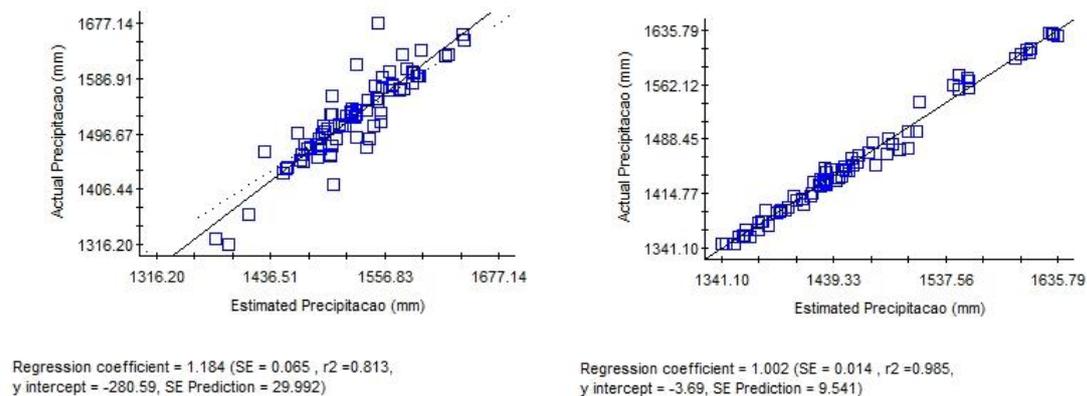


Figura 19. Validação Cruzada para os períodos de 2000/01 e 2001/02.

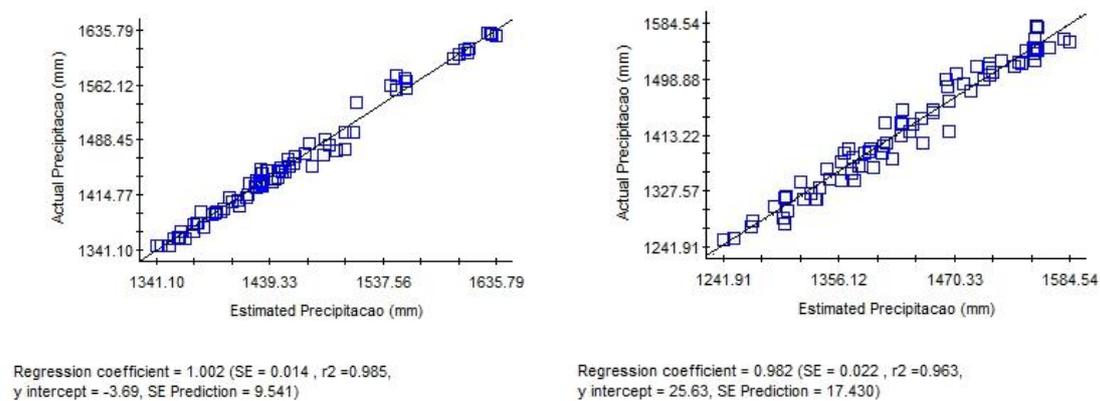


Figura 20. Validação Cruzada para os períodos de 2002/03 e 2003/04.

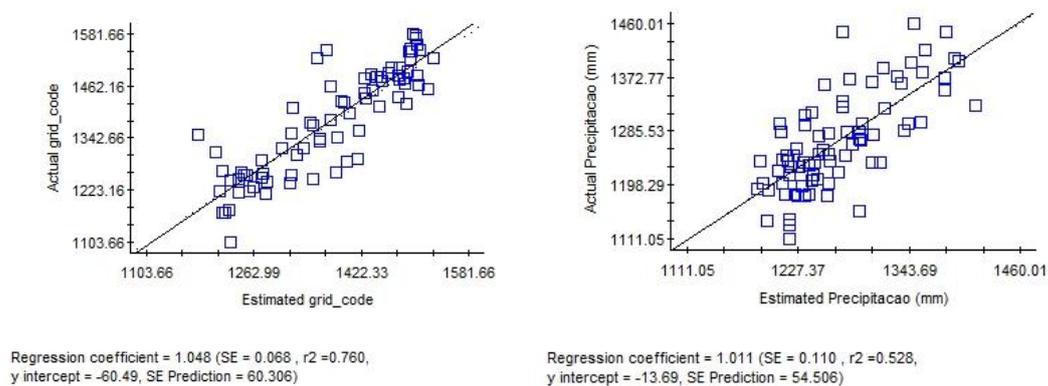
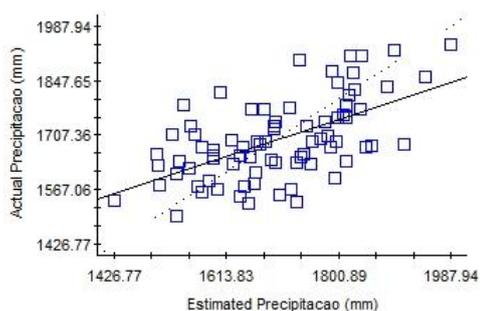
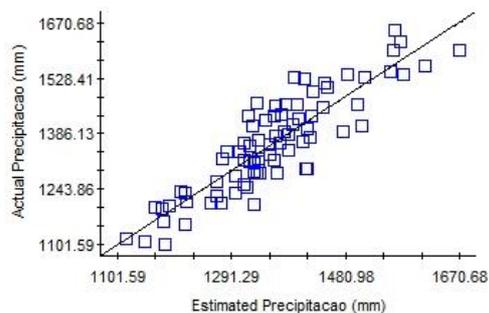


Figura 21. Validação Cruzada para os períodos de 2004/05 e 2005/06.

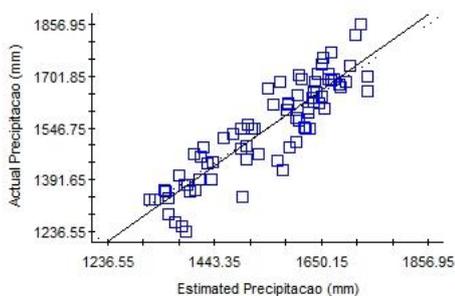


Regression coefficient = 0.512 (SE = 0.081 , r2 =0.347,
y intercept = 826.33, SE Prediction = 83.701)

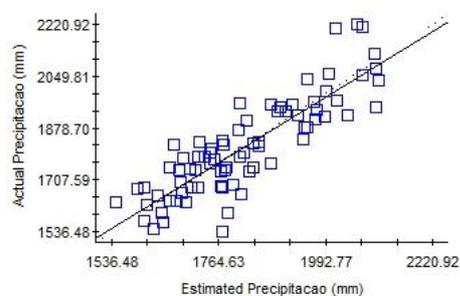


Regression coefficient = 1.007 (SE = 0.061 , r2 =0.784,
y intercept = -8.07, SE Prediction = 59.151)

Figura 22. Validação Cruzada para os períodos de 2006/07 e 2007/08.

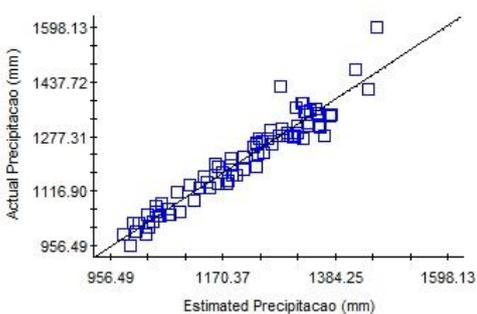


Regression coefficient = 1.092 (SE = 0.062 , r2 =0.803,
y intercept = -141.63, SE Prediction = 64.269)

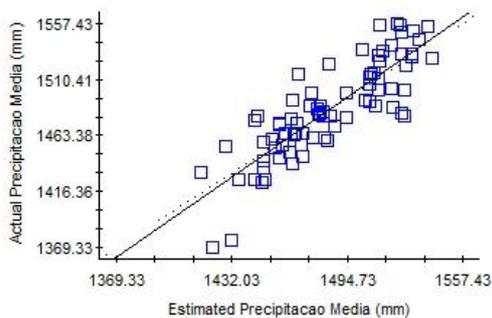


Regression coefficient = 0.946 (SE = 0.065 , r2 =0.738,
y intercept = 95.84, SE Prediction = 81.550)

Figura 23. Validação cruzada para os períodos de 2008/09 e 2009/10.



Regression coefficient = 1.011 (SE = 0.033 , r2 =0.923,
y intercept = -12.45, SE Prediction = 36.136)



Regression coefficient = 1.067 (SE = 0.078 , r2 =0.712,
y intercept = -99.79, SE Prediction = 21.445)

Figura 24. Validação Cruzada para o período de 2013/14 e Média Decenal 2000/10.

À partir da Validação Cruzada foram fornecidos dados possíveis para se analisar a predição do erro. A predição do erro se faz referência a estatísticas que permitiram analisar o erro existente quanto à interpolação dos dados. Também se fez útil para verificar se o método interpolativo e o modelo escolhido foram os melhores para estimar os dados (Tabela 5).

Tabela 5. Predição de Erros dos mapas de precipitação na UGRHI-17 entre os períodos hidrológicos.

Predição do erro (anos)	Média do erro	Valor médio quadrático	Média do erro padrão	Média padronizada	Valor médio quadrático padronizado
2000 - 2001	0,414	27,21	33,38	0,01066	0,78
2001 - 2002	-0,504	9,64	12,41	-0,03732	0,78
2002 - 2003	0,218	13,60	18,21	0,02234	1,39
2003 - 2004	0,115	20,11	16,30	0,00581	0,84
2004 - 2005	-2,150	55,43	52,38	-0,03231	0,92
2005 - 2006	-0,311	54,47	54,82	-0,00023	0,99
2006 - 2007	0,992	60,98	67,36	0,01217	1,11
2007 - 2008	-2,245	61,42	56,32	-0,02726	0,91
2008 - 2009	-0,552	72,88	62,11	-0,00735	0,85
2009 - 2010	1,488	76,11	82,18	0,01229	1,08
2013 - 2014	-1,530	40,18	36,80	-0,03063	0,90
Média (2000 - 2010)	-5,785	239,48	227,95	-0,02088	0,93

A média do erro dos mapas e precipitação apresentou valores próximos a 1, com exceção da média decendial, demonstrando um bom emprego dos dados aplicados na confecção destes mapas. A alta variação da média decendial se justifica por agregar uma maior fonte de dados de precipitação, referentes a todos os períodos entre 2000 à 2010.

O valor médio quadrático também tem como referência o valor de 1, uma vez que quando o dado apresenta valor abaixo de 1 está subestimando os dados, e quando acima, está superestimando. O menor valor apresentado foi de 9,64 e o maior 239,48.

a média padronizada apresenta o número 0 como unidade de referência, como foi observado em todos os anos, sendo que o valor mais próximo de zero foi obtido no

mapa do período de 2005-2006 e o mais distante verificado em 2001-2002. O valor médio quadrático padronizado tem como referência 1 como padrão, fator que se demonstrou satisfatório ao analisar todos os períodos que se enquadram neste padrão.

Com relação à média de erro padrão, deve apresentar resultados aproximados a média de erro padronizada, contudo nesta relação não houve muita coerência com os períodos estudados.

5.4 Mapeamento da Precipitação

Após a realização do ajuste do modelo e verificada a dependência espacial dos dados, foi realizada a interpolação por Krigagem Ordinária. Deste modo foi possível representar continuamente os dados de precipitação, estimando os valores para áreas não amostradas. Nas Figuras 25 a 35 a seguir, são apresentadas as distribuições da precipitação para os períodos de análise.

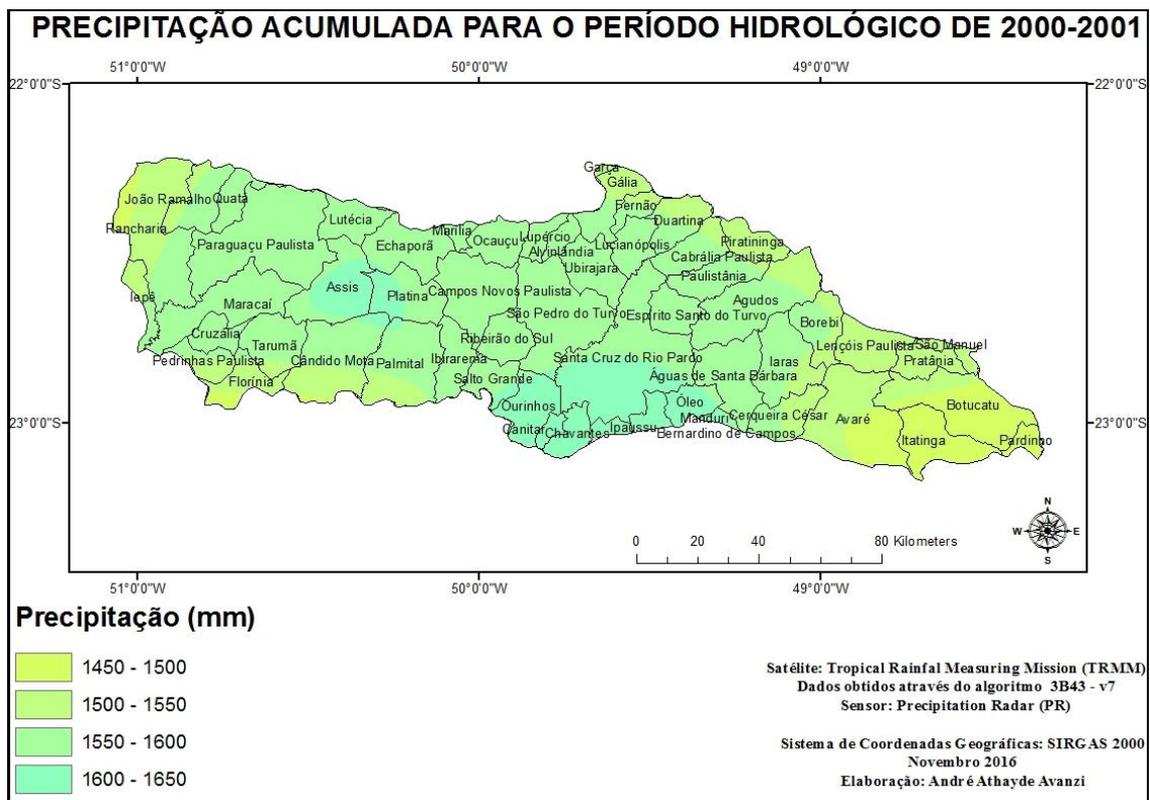


Figura 25. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2000 – 2001.

Observou-se a partir do mapa de precipitação acumulada referente ao período hidrológico de 2000-2001 que a porção leste da bacia recebeu os menores índices de chuva, apresentando uma precipitação mínima de aproximadamente 1450,00 mm, envolvendo municípios como Avaré, Itatinga, Botucatu e Pardinho. A porção Centro-Sul da bacia comportaram a maior quantidade de precipitação, atingindo índices entre 1600 e 1650 mm, onde estão inseridos os municípios de Ourinhos, Chavantes, Santa Cruz do Rio Pardo, Ipaussu e Óleo. Outros municípios que comportaram a maior quantidade de precipitação foram Assis e Platina, situados na porção Centro Oeste da bacia.

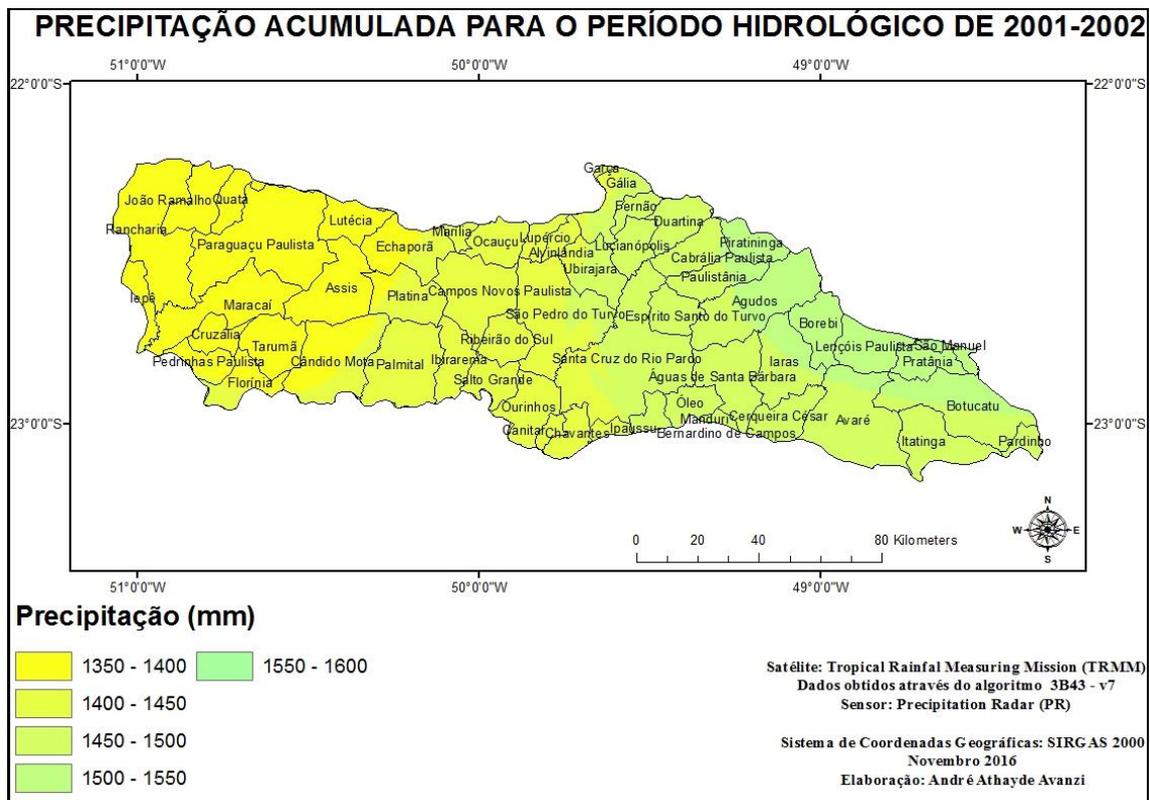


Figura 26. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2001 – 2002.

O período hidrológico de 2001-2002 apresentou uma variação de precipitação de 1350 a 1600 mm. A porção Oeste da bacia apresentou os menores índices precipitados neste período onde se concentram os municípios de João Ramalho, Quatá, Lutécia, Paraguaçu Paulista, Echaporã, Assis, Candido Mota, Maracaí, Iapê, Cruzália, Pedrinhas Paulista e Florínea. A porção Leste da bacia apresentou a maior quantidade precipitada para o período onde se encontra a área a montante da UGRHI-17.

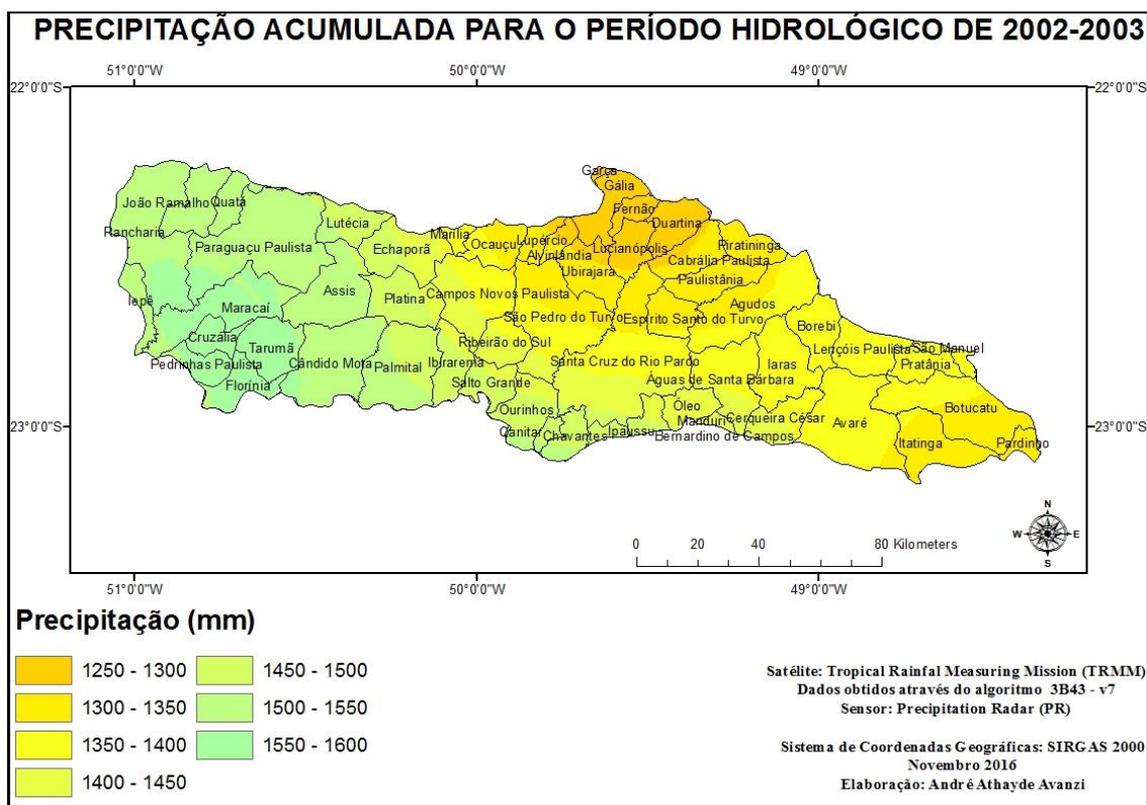


Figura 27. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2002 – 2003.

O período hidrológico de 2002-2003 apresentou seus menores índices precipitados na porção norte da bacia envolvendo os municípios de Garça, Gália e Lucianópolis com precipitação entre 1250 e 1300 mm. Os municípios da porção Leste e Central da região também apresentaram índices baixos de precipitação comparados a porção Oeste que obtiveram os índices mais elevados para este período hidrológico. A área onde se encontram os municípios de Maracá, Cruzália, Tatumã, Florínea e Pedrinhas Paulista foi a de maior índice precipitado para o período, atingindo a precipitação acumulada de 1550 a 1600 mm.

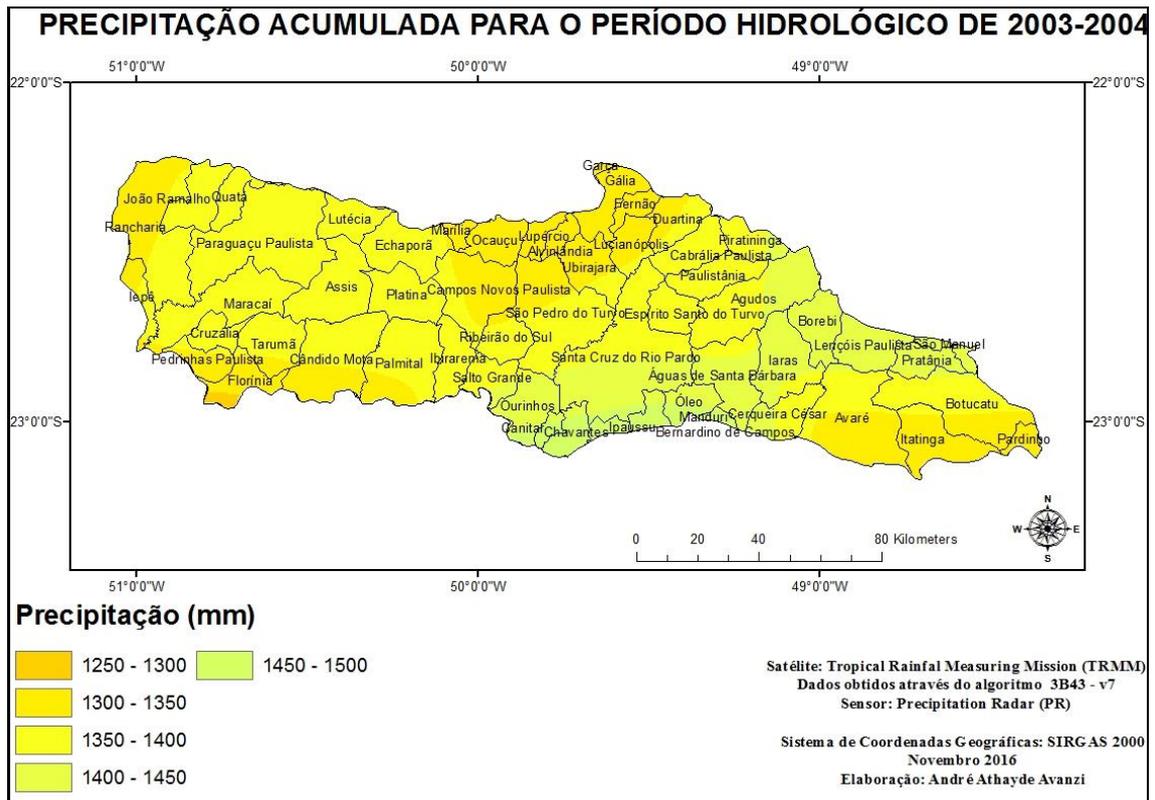


Figura 28. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2003 – 2004.

O período de 2003-2004 apresentou uma variação de 1250 a 1500 mm de precipitação acumulada. Praticamente toda a porção da bacia apresentou baixos índices de precipitação, em torno de 1250 a 1350 mm, enquanto os municípios de Ourinhos, Ipaussu, Chavantes, Óleo, Águas de Santa Barbara, Iaras, Borebi, Lençóis Paulista e Pratânia representaram as áreas onde se obtiveram os maiores índices de precipitação para o período variando de 1450 a 1500 mm.

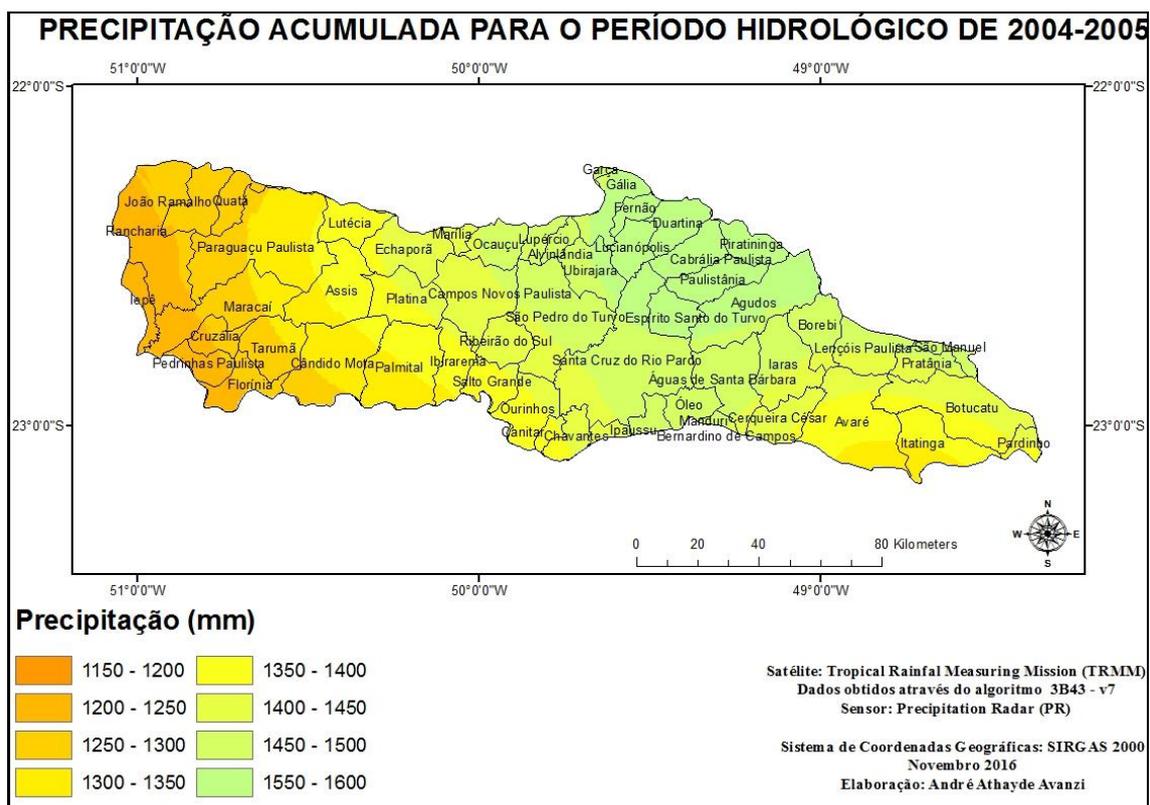


Figura 29. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2004-2005.

A Figura 27 representou a quantidade de precipitação que a UGRHI-17 comportou para o período de 2004-2005, sendo que a porção Oeste apresentou os índices de precipitação acumulada mais baixos para este período, 1150 a 1250 mm. Neste período hidrológico a porção norte se destacou apresentando os maiores índices precipitados com uma variação se 1550 a 1600 mm.

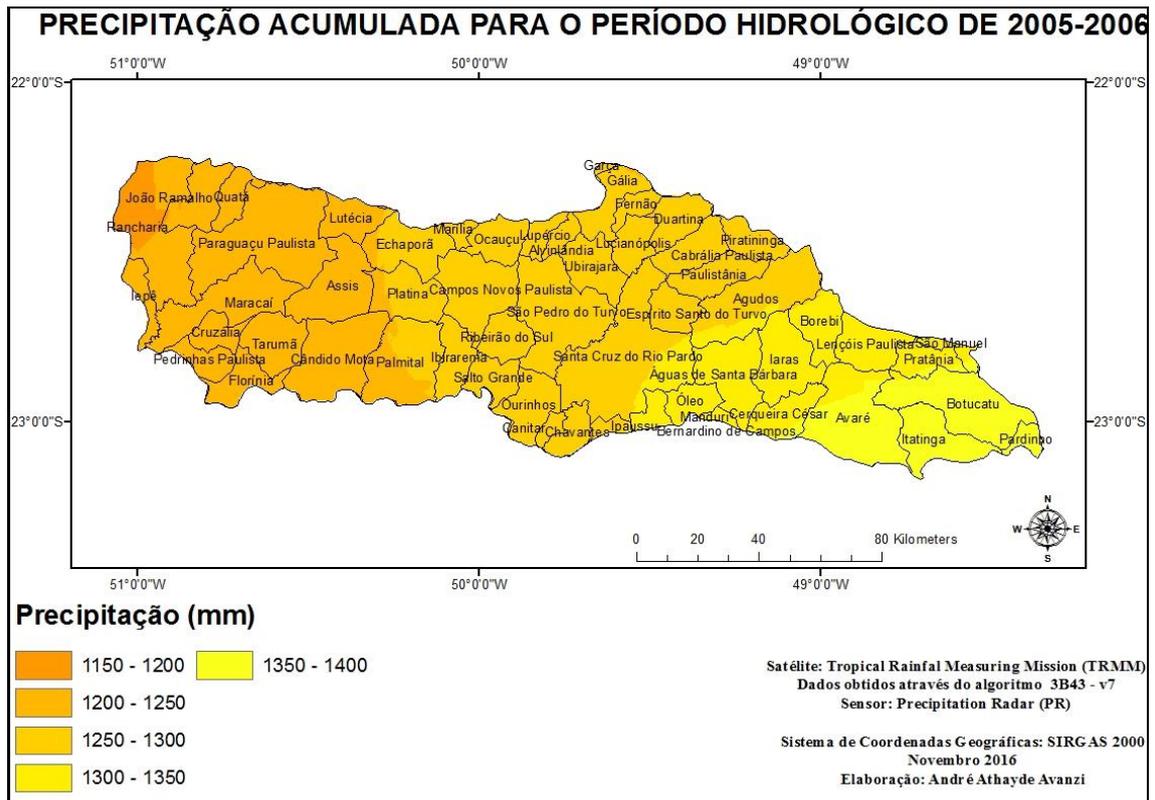


Figura 30. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2005-2006.

Para o período hidrológico de 2005-2006, baixos índices de precipitação acumulada foram constatados. O município de Rancharia apresentou os índices mais baixos precipitados para o período, 1150 a 1200 mm. Em seguida, na porção Oeste foi observado índices de precipitação em torno de 1200 a 1250 mm, na área central da bacia a precipitação acumulada foi de 1250 a 1300 mm e a porção leste da bacia obteve os índices mais altos para o referente período hidrológico, com variações de precipitação em torno de 1300 a 1400 mm.

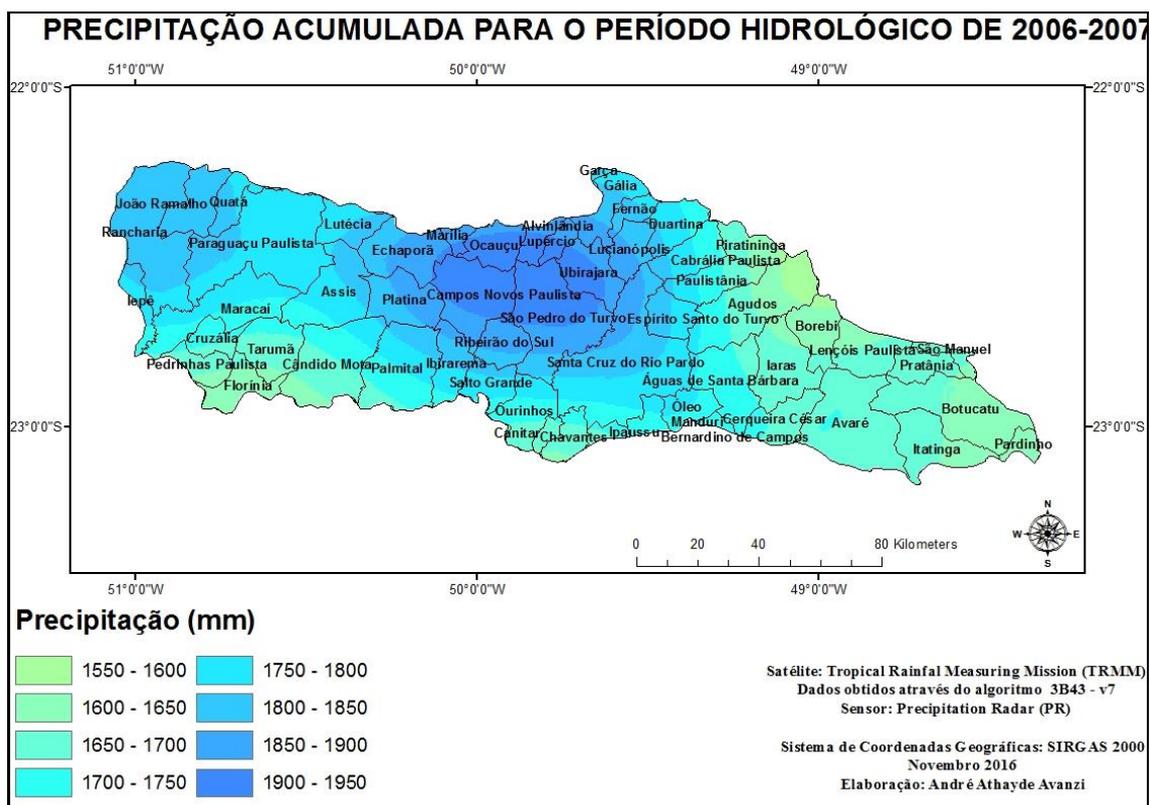


Figura 31. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2006-2007.

A variação pluviométrica que o período hidrológico de 2006-2007 apresentou foi entre 1550 a 1950 mm. A área representada pelos municípios de Ocauçu, Campos Novos Paulista, Ubirajara, Lupércio e São Pedro do Turvo apresentaram a região com o índice de maior precipitação pluviométrica para o período estudado com variação da precipitação de 1900 a 1950 mm. Este período hidrológico foi um dos que obteve um grande índice de precipitação dentre os estudados.

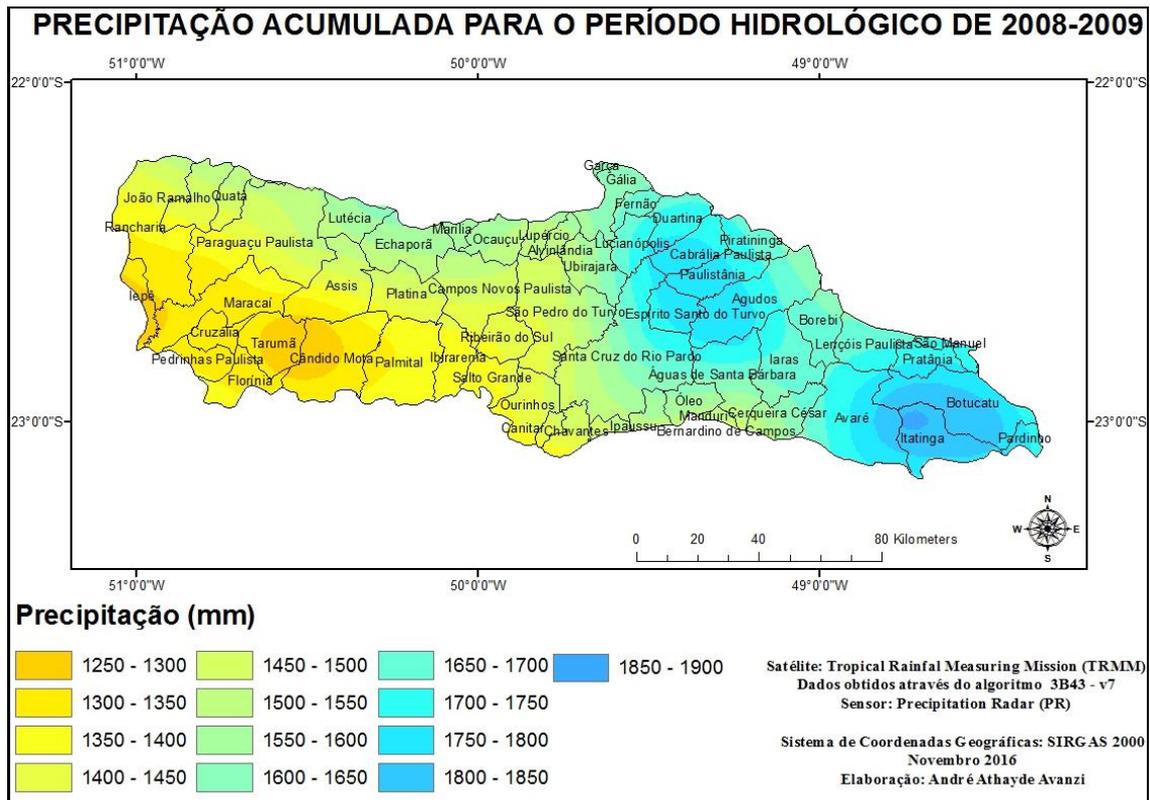


Figura 33. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2008-2009.

A Variação pluviométrica do período hidrológico de 2008-2009 foi bem abrangente apresentando uma variação de 1250 a 1900 mm de precipitação acumulada. Na porção Sudoeste foi possível observar os menores índices precipitados, enquanto a porção Leste e Noroeste apresentaram as maiores taxas de precipitação para o período. O município de Itatinga representou a área de maior precipitação (1850 a 1900), seguido da área representada pelos municípios de Botucatu, Avaré, Paulistânia, Cabrália, Espírito Santo do Turvo e Agudos com uma variação de 1800 a 1850 mm.

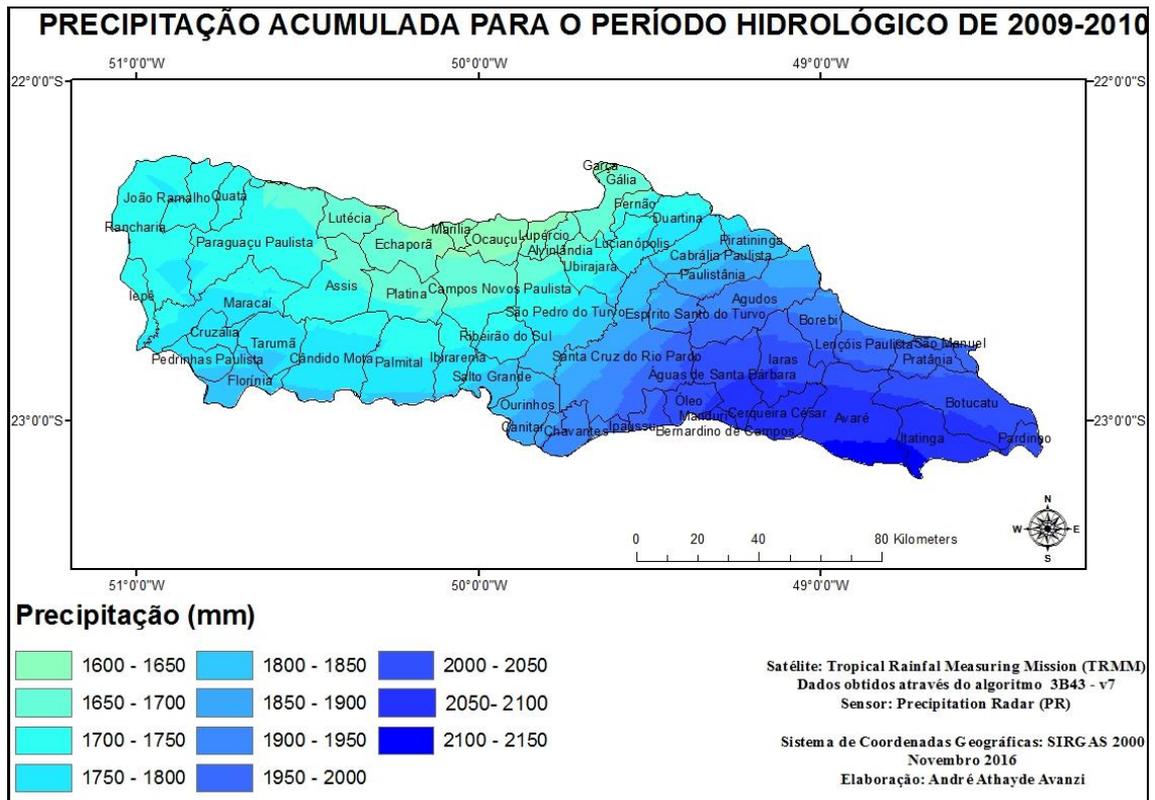


Figura 34. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2009-2010.

O período hidrológico de 2009-2010 apresentou as maiores taxas de precipitação dentre todos estudados na região hidrográfica do Médio Paranapanema. As taxas precipitadas foram de 1600 a 2150 mm, sendo que a porção Leste da bacia foi a área onde se observou os maiores índices de precipitação enquanto a porção Noroeste e Oeste apresentaram os menores índices pluviométricos para este período.

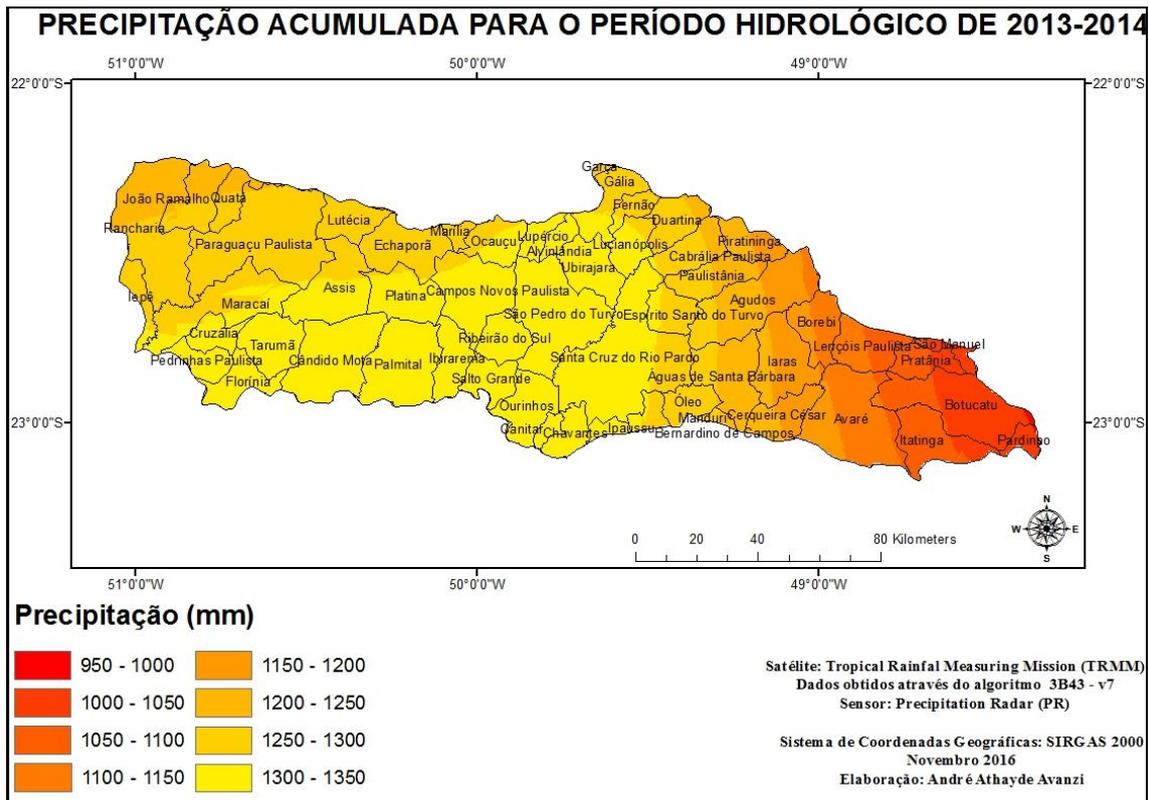


Figura 35. Mapa da precipitação acumulada para o período hidrológico de 2013-2014.

O período hidrológico de 2013-2014 apresentou índices de baixa precipitação acumulada. A variação da precipitação para a bacia do Médio Paranapanema neste período foi de 950 a 1350mm, sendo que as menores taxas de precipitação se encontraram a montante da bacia com uma taxa de precipitação de 950 a 1000 mm onde representa a área dos municípios de Botucatu, Pardinho, Itatinga, Pratânia, Avaré e Lençóis paulista. A área Central e mais ao Sudoeste localizadas a jusante da bacia apresentaram os maiores índices, com uma variação de 1300 a 1350 mm.

A partir da interpretação e comparação de todos os mapas, foi possível observar que o período de 2009-2010 apresentou os índices mais altos de precipitação, atingindo aproximadamente 2150 mm de chuva. Em 2013 foram encontrados os menores valores pluviométricos, como se esperava devido à ausência de chuva que a região sofreu no respectivo período com uma precipitação média de apenas 1215,56 mm.

A quantidade mínima de precipitação de cada período correspondeu a valores acima de 1100 mm, com exceção do período de 2013-2014 que registrou 956,40 mm. Enquanto as variações das precipitações máximas que cada período apresentou oscilaram entre 1460 e 2221 mm.

5.5 Mapa da média das precipitações (2000 a 2010) na UGRHI-17

A partir dos mapas abordados no capítulo 5.4, obteve-se como produto um mapa com informações sobre a média das precipitações entre os períodos hidrológicos de 2000 a 2010 na bacia hidrográfica do Médio Paranapanema (Figura 36).

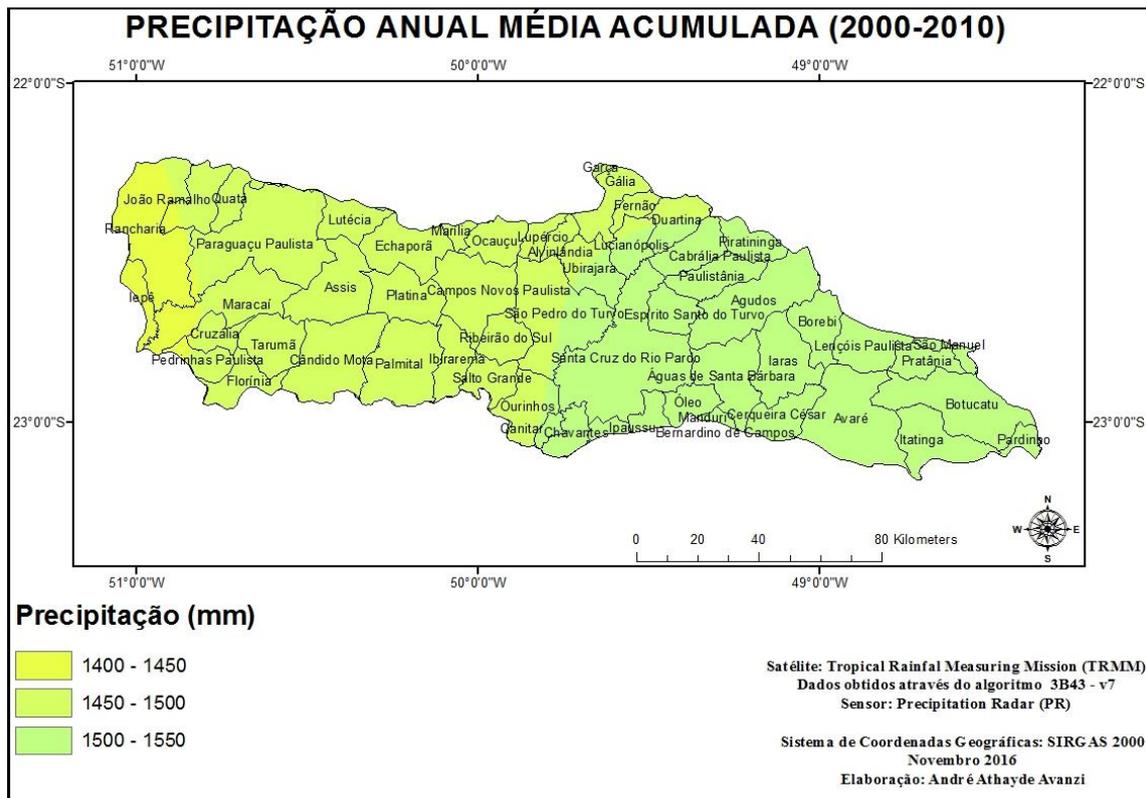


Figura 36. Média da precipitação acumulada entre os períodos hidrológicos de 2000 a 2010 na UGRHI-17.

A porção Oeste da bacia apresentou a menor quantidade precipitada com uma variação de 1400 a 1450 mm. Já a área central e leste contaram com os maiores índices, representando uma variação de 1450 a 1500 mm precipitados.

5.6 Diferença entre o a precipitação acumulada no período hidrológico de 2013-2014 e a média das precipitações (2000 a 2010) na UGRHI-17

Ao realizar uma análise de cada mapa, foi possível identificar a diminuição da quantidade de precipitação no período hidrológico de 2013-2014 em determinados municípios, quando comparados aos períodos anteriores.

Para se verificar a variação percentual entre os totais precipitados nos períodos de análise, os planos de informação dos dois períodos foram comparados, demonstrando a alteração da quantidade de chuvas que o período de 2013-2014 sofreu em relação ao períodos estudados anteriormente (Figura 37).

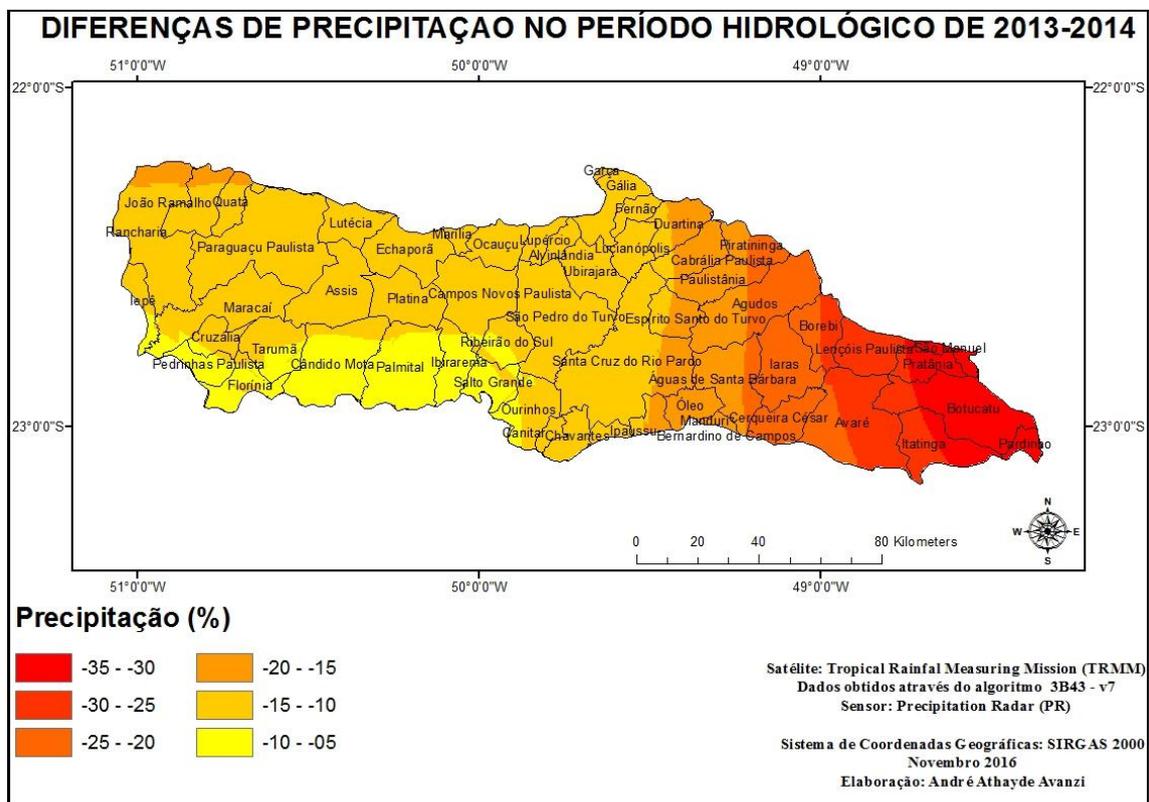


Figura 37. Diferença da média de precipitação entre o período hidrológico de 2013-2014 e a média decenal de 2000-2010 na UGRHI-17.

De modo geral, a bacia hidrográfica do Médio Paranapanema, no período de 2013-2014 apresentou um déficit de precipitação com relação a toda sua extensão se comparada à média gerada para o período de 2000-2010.

As menores taxas de precipitação durante o período de 2013-2014 foram registradas na parte oriental da bacia, nos municípios de Botucatu, Pardinho, Itatinga, Pratânia, Avaré e Lençóis Paulista. O Rio Pardo, um dos principais rios da bacia, flui desta área para o centro da bacia, próximo de Ourinhos. Muitas cidades usam suas águas para o abastecimento urbano, assimilação de esgotos, geração de energia hidrelétrica e recreação. Essa água provém do escoamento de precipitação, portanto os impactos nas águas do Rio Pardo afetam pelo menos metade da região, como citado por AVANZI; SAFRE e MANZIONE (2016).

Um exemplo da escassez do volume hídrico do Rio Pardo pode ser constatado na notícia do portal de informações G1, sobre a cachoeira “véu da noiva” (Figura 38) situada no município de Botucatu, a qual era muito visitada por turistas e moradores da região e passou a ser pouco frequentada neste período de estiagem devido a sua vazão quatro vezes menor do que a habitual. Afetando diretamente o turismo e a economia da região.



Figura 38. Sem água, volume de cachoeira em Botucatu fica quatro vezes menor.
Fonte: G1/TvTem(2014).

Diversos produtores que utilizam a água como fonte de irrigação para suas culturas sofreram com a estiagem deste período. No caso da região de Avaré (Figura 39) a falta de chuva ocasionou a seca de alguns açudes, sendo necessário o investimento no sistema de irrigação. A seca também causou para algumas lavouras grandes prejuízos e, alguns de seus alimentos, tais como verduras e legumes não se desenvolveram o necessário para a colheita.



Figura 39. Investimento em irrigação no município de Avaré.
Fonte: G1/TvTem(2014).

Os resultados apontaram que as áreas mais afetadas pela falta de chuva foram às cabeceiras de drenagem, mais especificamente a rede de nascentes dos Rios Pardo, Novo e Claro próximos ao município de Botucatu, Itatinga e Pratânia, com déficit entre -35 e -30% demonstrando um baixo volume precipitado, em relação aos outros períodos.

Safre (2015) ressalta que os municípios que apresentaram déficit no volume precipitado utilizam das águas superficiais do Rio Pardo para abastecimento urbano. Porém, a diminuição na vazão dos rios apresentaram problemas nas demais regiões da bacia, como é o caso de Ourinhos, em que foi necessária a construção de um dique na Estação de Tratamento de Água (ETA) para auxiliar na captação, pois o rio atingiu níveis muito baixos, não permitindo que a água conseguisse passar pelas canaletas para chegar até as bombas adutoras.

6. CONCLUSÕES

Por meio das estimativas de precipitação obtidas pelos dados do satélite TRMM, foi possível realizar uma análise a respeito do comportamento espacial do fenômeno, apontando as áreas críticas da bacia, que necessitam de atenção devido à falta de chuva.

Foi perceptível a variabilidade espacial do fenômeno hídrico da precipitação, que demonstrou comportamentos de anomalia no período hidrológico de 2013-2014, caracterizado pela escassez ao longo do período chuvoso. Dentre os municípios mais afetados neste período destacam-se os que estão localizados na porção Leste da Bacia, onde se situam as nascentes a montante da bacia.

A análise geoestatística permitiu apurar as relações de distância e dependência espacial das chuvas. Os modelos que mais se ajustaram foram os do tipo Gaussiano. Os ajustes dos modelos teóricos em relação aos variogramas -sedemonstraram eficientes segundo a validação cruzada, possibilitando estimar com precisão os valores para as áreas não amostradas através da interpolação por krigagem.

Considerando a média calculada para todo o período de 2000-2010 de 1.485,67 mm, destacam-se os períodos de 2000-2001, 2006-2007, 2008-2009 e 2009-2010 que apresentaram níveis de precipitação superiores à média enquanto, os demais períodos apresentaram resultados inferiores à média.

As diferenças de precipitação no ano da seca na UGHRI-17 apresentaram uma diferença de precipitação de -35 a -5 %. As áreas mais afetadas se situaram às cabeceiras de drenagem onde se localizam as nascentes do Rio Pardo, Novo e Claro próximos aos municípios de Botucatu, Itatinga e Pratânia. Essa diferença foi ocasionada devido a um bloqueio atmosférico atípico na região.

O uso de produtos provenientes do Sensoriamento Remoto, como também as técnica de Geoprocessamento contribuíram de modo significativo à pesquisa, tornando possível a realização dos processos de maneira rápida e fácil, possibilitando a análise espacial. O banco de dados gerado pode contribuir com os órgão gestores como forma de indicar as áreas prioritárias de monitoramento para a UGRHI-17.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, C.; PETTY, G.; MORISSEY, M.; GOODMAN, H. M. **Intercomparison of global precipitation products**: The third Precipitation Intercomparison Project (PIP-3). Bull. Amer. Meteor. Soc., 82, 1377–1396, 2001.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística**. Editora Unisinos, p. 166, 2003.

ANGELIS, C. F. : **Análise dos sistemas precipitantes no Brasil a partir de dados processados em um integrados de informações adquiridas por pluviômetros, satélites, rede de relâmpagos e radares meteorológicos-PRECIBRA**. Projeto de Pesquisa. CPTEC-INPE, 2006.

ANGELIS, C. F.; MACHADO, L. A. T.; MORALES, C. A.; SILVA, S. A. A.; HENRIQUES, C. R.; NOGUEIRA, J. **Rede de radares meteorológicos: ação conjunta DECEA - INPE/CPTEC**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia (CBMET), 14. 2006. Florianópolis, SC. Anais... 2006. São Jose dos Campos: INPE, 2006. CD-ROM. (INPE-14534-PRE/9565). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtdcm17@80/2006/12.21.21.02>>. Acesso em: 20 out. 2016.

ASSAD, E. D. **Sistemas de Informações geográficas. Aplicações na agricultura**. 2ª ed. Brasília, BSB. Embrapa-SPI / Embrapa-CPAC. 1998.

AVANZI, A. A. ; SAFRE, A. L. S. ; MANZIONE, R. L. . **Precipitation differences estimated at Médio Paranapanema (UGRHI-17) hydrographic region, São Paulo, Brazil, during 2013/2014 hydrological year and its effects in the local municipalities**. In: Maria João Pereira; Maria João Quintão; Manuel Ribeiro; Amílcar Soares. (Org.). Geostatistics for Environmental Applications ? geoENV 2016. 1ed.Lisboa: Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, 2016, v. 1, p. 103-108.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 8ª ed. - Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 332, 2002.

BRASIL. **Lei Federal 9.433** de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Brasília: residência da República, 1997.

CARVALHO, A. C. D. **Análise da erosividade de eventos pluviais extremos**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista. Ourinhos, SP. 2014

CARVALHO, F. P.; Sousa, R. L.; Carvalho, B. S.,: **Análise da situação atual da rede hidrometeorológica da bacia hidrográfica do rio Paraguai**. III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste, Goiania (GO), 2004.

CARVALHO, J. R. P de; SILVEIRA, P. M. da; VIEIRA, S. R. **Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.37, n.8, p.1151-9, ago. 2002.

CBH-MP – comitê da bacia hidrográfica do médio paranapanema. **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema**. Caderno Síntese. São Paulo: CBH-MP, 2007.

COELHO, C. A. S. ; CARDOSO, D. H. F. ; FIRPO, M. A. F. **A Seca de 2013 a 2015 na Região Sudeste do Brasil**. Climanalise (São José dos Campos) , v.1, p.1, 2016.

COLLISCHONN, B.; ALLASIA, D.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Desempenho do satélite TRMM na estimativa de precipitação sobre a bacia do Paraguai superior. **Revista Brasileira de Cartografia, Porto Alegre**, v.59, n.1, p.93-99, 2007.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica de Grandes Bacias**. Tese de doutorado, IPH-UFRGS, p. 194, 2001.

CONTI, G. N. **Estimativa de precipitação através de técnicas de sensoriamento remoto: Estudo de caso para o estado do Rio Grande de Sul**. Dissertação de mestrado, IPH-UFRGS, 2002.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto. Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB**. Brasília - DF, 2005. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conabweb/download/SIGABRASIL/manuais/conceitos_sm.pdf> Acesso em: 16 nov. 2016.>

FISHER, B. L. **Climatological Validation of TRMM TMI and PR Monthly Rain Products over Oklahoma**. Journal of Applied Meteorology and Climatology, n. 43, 519–535, 2004.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Sao Paulo: Oficina de Textos, 2007.

G1. **Estiagem prolongada causa prejuízos a agricultores na região de Avaré**. Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/itapetininga-regiao/noticia/2014/11/estiagem-prolongada-causa-prejuizo-agricultores-na-regiao-de-avare.html>> Acesso em nov. 2016>

G1. **Sem água, volume de cachoeira em Botucatu fica quatro vezes menor**. Disponível em: < <http://g1.globo.com/sp/bauru-marilia/noticia/2014/10/sem-agua-volume-de-cachoeira-em-botucatu-fica-quatro-vezes-menor.html> Acesso em nov. 2016>

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 2 ed, p.291, 1988.

GUERRA, P. A. G. **Geoestatística operacional**. Brasília: Ministério das Minas e Energia, Departamento de Produção Mineral, p.145, 1988.

GUIMARÃES, E. C. **Geoestatística básica e aplicada**. UFU/ FAMAT. Núcleo de estudos estatísticos e biométricos. 2004. 48 p. Disponível em: <www.famat.ufu.br/ednaldo/geoest/apgeo1.pdf>. Acesso em: 10 de ago. 2009.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. **Applied Geostatistics**. New York: Oxford University Press, 1989.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: EPIPHANIO, J.C.N. (coordenador)...[et al.]. Sao Jose dos Campos: Parentese, 2009.

JOHNSTON; K. KRIVORUCHKO; K. LUCAS; N. VER HOEF; J. M. **Using ArcGIS geostatistical analyst**. Esri Redlands, p. 380, 2001.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. São Paulo, Ed. UNESP, p. 226, 1998.

LEAL, A. C. **Planejamento ambiental de bacias hidrográficas como instrumento para o gerenciamento de recursos hídricos**, p. 66-84, 2012.

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

MATA, J. D. V. da. **Variabilidade espacial de indicadores da compactação de terra roxa estruturada, sob dois sistemas de preparo, cultivada com feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado**. Piracicaba, Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 73, 1997.

MENDES, C. A. B.; **Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto na região estuarina da Laguna dos Patos, Rio Grande do Sul, Brasil**. Dissertação de mestrado, p. 16, 1990.

MORAES, M. P. C. **Variabilidade da precipitação pluvial na unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI) do Médio Paranapanema**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista. Ourinhos, SP. 2012

NICHOLSON, S. E. **Validation of TRMM and Other Rainfall Estimates with a High-Density Gauge Dataset for West Africa**. Part II: Validation of TRMM Rainfall Products. J. Appl. Meteor., 42, 1355–1368, 2003.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto. Curso de Especialização em Geoprocessamento**. UFRJ, IGEO, Dep.Geografia, LAGEOP, Rio de Janeiro, 2 ed, 1999.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. Sao Paulo: Edgard Blucher, 1992.

PARIZZOTO, T. M. **Análise da precipitação pluvial na bacia do Paranapanema**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade estadual Paulista. Ourinhos-SP, 2008.

PEDROZO, A. K. M. **Análise das variações de precipitação na região hidrográfica do alta Paranapanema (UGRHI-14) nos verões de 2001 a 2013**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista, 2015.

PEREIRA, G.; SILVA, M.E.; MORAES, E.; CARDOZO, F. **Avaliação dos Dados de Precipitação Estimados pelo Satélite TRMM para o Brasil**. In RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos Volume 18 n.3. Pág.139-148, 2013.

PINHATTI, A. L. **Aspectos conceituais da gestão de recursos hídricos e sua aplicação no caso das bacias hidrográficas dos rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, SP**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências. Campinas, UNICAMP, 1998.

PIROLI, E. L. **Geoprocessamento aplicado ao estudo do uso da terra das áreas de preservação permanente nos corpos d'água da bacia hidrográfica do Rio Pardo**. Tese (Livre Docência em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento), Universidade Estadual Paulista, Ourinhos, 2013.

PIROLI, E. L., ZANATA, J. M, DELATORRE, C. C. M. **Uso da terra nas áreas de preservação permanente do baixo Pardo: contribuição das geotecnologias para o manejo dos recursos naturais**. Revista Geonorte, Manaus, Edição Especial, v. 2, n. 4, p. 1766-1776, 2012.

PLANO de Bacia da Unidade de Gerenciamento de recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI-17). Caderno Síntese. São Paulo-SP, 2007

RODRIGUES, M. **Geoprocessamento: um retrato atual.** Revista Fator GIS. Curitiba, 1993.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto.** 7a edição. Uberlândia: UFU, 2009.

ROSSI, R. E., DUNGAN, J. L., BECK, L. R. **Kriging in the shadows: geostatistical interpolation for remote sensing.** Remote Sens. Environ., v.49, p. 32-40, 1994.

SAFRE, A. L. S.; MANZIONE, R. **Estimativa da precipitação na bacia do Rio Pardo no verão 2013/14 e seus efeitos nos municípios da UGRHI – 17,** XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa – PB, 2015

SAFRE, A. L. S. **Estimativa e análise da precipitação pluvial na bacia do rio pardo através de técnicas de geoprocessamento.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista, 2015.

SHORT, D. A.; NAKAMURA, K. **TRMM radar observations of shallow precipitation over the tropical oceans.** Journal of Climate, v.13, p.4107–4124. 2000.

SILVA, A. F. **Geoestatística.** GEPAG, FCA, UNESP/Botucatu - São Paulo. 47p. 2010.

SILVA, A. F.; QUARTEZANI, W. Z.; ZIMBACK, C. R. L; LANDIM, P.M. B. **Aplicação da geoestatística em a ciências agrárias.** Botucatu: FEPAF, 136 p. 2011.

SILVA, D.F.; Pantano, A.P.; Camargo, M.B. Análise de dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o vale do médio Paranapanema – SP. **Revista Engenharia na Agricultura**, v.21, n.2, p.138-147,2013.

SILVA, L.; CARVALHO, D. **Hidrologia.** Capítulo 4 - Precipitação, 2006. Disponível em <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO>> Acesso em: 20, out. 2016.

SILVA, L.; LIMA, E. R. V.; ALMEIDA, H. A.; COSTA FILHO, J. F. **Caracterização Geomorfométrica e Mapeamento dos Conflitos de Uso na Bacia de Drenagem do Açude Soledade.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 03, p.112-122, 2010.

SILVA. J. X. **O que é Geoprocessamento?.** In: Revista do Crea-RJ. Outubro/ Novembro de 2009. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/lga/tiagomarino/artigos/oqueegeoprocessamento.pdf>>. Acesso em: abr. 2016.

TUCCI, C. E. M.; BRAGA, B. (Orgs). **Clima e Recursos Hídricos no Brasil.** Coleção ABRH, vol. 9, p. 348, 2003.

TUCCI, C. E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação.** Porto Alegre: Ed. da Universidade, ABRH: EDUSP, 1993. 943 p.

VAUCLIN, M.; VIEIRA, S. R.; VACHAUD, G.; NIELSEN, D. R. **The use of cokriging with limited field soil observations.** Soil Science Society of America Journal, Oxford, v.47, p.175-184, 1983.

VIEIRA, S. R.; NIELSEN, D. R.; BIGGAR, J. W. **Spatial variability of field-measured infiltration rate.** Soil Science Society of America Journal, Oxford, v.45, p.1040-1048, 1981.

VILAS BOAS, O.; DURIGAN, G. **Pesquisas em Conservação e Recuperação Ambiental no Oeste Paulista:** resultados da cooperação Brasil/Japão. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica, 2004.

ZIMBACK, C. R. L. **Análise espacial de atributos químicos de solos para fins de mapeamento da fertilidade.** Tese Livre-Docência em Levantamento do Solo e Fotopedologia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu-SP, p. 114, 2001.