

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS DE OURINHOS

ANDERSON LUIZ DOS SANTOS SAFRE

**ESTIMATIVA E ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO DO ANO DE 2013 NA BACIA DO RIO
PARDO UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Ourinhos – SP

Dezembro de 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS DE OURINHOS

ANDERSON LUIZ DOS SANTOS SAFRE

**ESTIMATIVA E ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO DO ANO DE 2013 NA BACIA DO RIO
PARDO UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Avaliação de TCC do Curso de Graduação em Geografia – Bacharelado, do Campus Experimental de Ourinhos – UNESP, como parte das exigências para o cumprimento da disciplina Estágio Supervisionado e Trabalho de Graduação no 2º semestre de 2015.

Ourinhos – SP

Dezembro de 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”

CAMPUS DE OURINHOS

ANDERSON LUIZ DOS SANTOS SAFRE

**ESTIMATIVA E ANÁLISE DA PRECIPITAÇÃO DO ANO DE 2013 NA BACIA DO RIO
PARDO UTILIZANDO TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de Avaliação de TCC do Curso de Graduação em Geografia – Bacharelado, do Campus Experimental de Ourinhos – UNESP, como parte das exigências para o cumprimento da disciplina Estágio Supervisionado e Trabalho de Graduação no 2º semestre de 2015.

Orientador: Rodrigo Lilla Manzione

Ourinhos – SP

Dezembro de 2015

Dedico:

A meu avô Miguel, que sempre me dizia que o estudo é o melhor caminho. Deixou e ainda vai deixar muitas saudades. Isso tudo é por você, Avohai!

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a toda minha família por acreditar em mim.

Em especial a minha tia Maria Aparecida Safre pelo apoio durante toda minha vida, pois não estaria aqui se não fosse por ela.

A minha mãe Neusa Aparecida dos Santos, pela paciência e também por acreditar nos meus sonhos.

Ao apoio de minha irmã Julia Aparecida dos Santos Safre que ainda tem uma vida inteira pela frente e grandes coisas a conquistar.

Agradeço também a Natalia Nabhan pela amizade, companherismo e todos os bons momentos que sempre vou me recordar.

Quero agradecer a todos os amigos que me ajudaram a compreender um pouco mais essa viagem que chamamos de vida, em especial aqueles que conheci em Ourinhos, e que foram de extrema importância para a minha permanência aqui.

Agradeço a Escola de Musica Municipal que meu deu a oportunidade de estudar guitarra de graça com músicos de alto nível, Jairo Cavalcanti muito obrigado.

Gostaria de agradecer ao professor Rodrigo Lilla Manzione pela confiança, paciência e apoio. Ele foi um divisor de águas na minha vida, muito obrigado.

Banca Examinadora

Rodrigo Lilla Manziane

Edson Luís Piroli

Daniela Fernanda da Silva Fuzzo

Ourinhos, 01 de dezembro de 2015.

RESUMO

O Estado de São Paulo, Brasil, sofreu uma escassez hídrica durante os anos de 2013 e 2014. A diminuição nos níveis de precipitação afeta diretamente o balanço hídrico, pois a chuva é o principal *input* de água no sistema da bacia hidrográfica. A diminuição desse fenômeno é uma indicativa preocupante, requerendo planos e decisões para garantir o suprimento para o abastecimento humano. O rio Pardo é o principal sistema de drenagem da bacia do médio Paranapanema. Suas águas são utilizadas para abastecimento de cidades da região, abastecimento industrial e irrigação. A estimativa de precipitação obtida através de produtos de sensoriamento remoto fornecem importantes informações sobre os eventos de chuva e podem ser relacionados com as condições da bacia no espaço geográfico através dos Sistemas de Informações Geográficas. O objetivo dessa pesquisa foi comparar os dados de precipitação estimados pelo satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), na bacia do rio Pardo, durante o ano e o verão de 2013 com a média decenal para o período de 2001 a 2011. Desse modo foi comprovado um déficit no volume precipitado no ano e no verão de 2013. Os ajustes do semivariograma obtiveram bons resultados com um alcance de 1,98 km no ano de 2013, e ambos os dados apresentaram alta dependência espacial.

Palavras Chave: Bacia Hidrográfica, Sensoriamento Remoto, Precipitação, Geotecnologias, TRMM.

ABSTRACT

São Paulo state, Brazil, has suffered a water shortage during the years of 2013 and 2014. The diminished of rainfall rates directly affects the water balance, because the rain is the main source of water in a watershed system. The shortfall of this phenomenon is a worrying indication, requiring plans and decisions to assure the human water supply. The Pardo River is the main superficial water body of Médio Paranapanema hydrographic region. Its waters are responsible for urban supply in several cities of the region, as well industrial activities and irrigation. The rainfall estimative obtained by remote sensing products provides valuable information about precipitation events and can be related with river condition in the geographic space through the GIS. The objective of this paper was to compare the rainfall data estimated by the Tropical Rainfall Measuring Mission satellite (TRMM), in the Pardo river basin during the year and the summer of 2013 with the decennial average for the period of 2001 to 2011. Thereby, it was verified a shortfall in the precipitation volume on the year and the summer of 2013. The adjusts for the semivariogram obtained good results with a 1,98km range for the year of 2013, and a high spatial dependence for the both series of data.

Keywords: Watershed, Remote Sensing, Precipitation, geotechnologies, TRMM.

Sumário

1. INTRODUÇÃO	11
2. JUSTIFICATIVA	15
3. OBJETIVOS	16
3.1 Objetivo geral	16
3.2 Objetivos específicos	16
4. REVISÃO DE LITERATURA	17
4.1 Variabilidade climática e precipitação	17
4.2 Ciclo hidrológico.....	18
4.3 A bacia hidrográfica.....	21
4.4 Técnicas de Geoprocessamento, SIG's e Sensoriamento Remoto.	23
4.5 Geoestatística	30
5. MATERIAIS E MÉTODOS	33
5.1 Caracterização da área de estudo	34
5.1.1 Características Físicas	35
5.1.2 Características Geológicas	36
5.1.3 Características Pedológicas	38
5.1.4 Características Geomorfológicas	39
5.1.5 Características Climáticas.....	39
5.1.6 Características Hidrográficas.....	39
5.1.7 Características do Uso da Terra	42
5.1.8 Desenvolvimento e atual situação da ocupação	43
5.2 Procedimentos Metodológicos	44
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
6.1 Análise da precipitação anual	47
6.2 Análise da precipitação durante os verões.....	56
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Captações superficiais e subterrâneas registradas na unidade hidrográfica Pardo.....	27
Tabela 2 - Situação da Unidade Hidrográfica Pardo, em termos da razão entre captações e Qmédia.....	28
Tabela 3 – Estatísticas descritivas dos dados de precipitação anual.....	34
Tabela 4 – Parâmetros do variograma para os dados de precipitação anual.....	36
Tabela 5 – Estatística descritiva dos dados de precipitação no verão.....	41
Tabela 6 - Parâmetros do variograma para os dados de precipitação no verão.....	43

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da bacia do Rio Pardo.....	22
Figura 2 - Histograma da precipitação média do período.....	35
Figura 3 - Histograma da precipitação acumulada para o ano de 2013.....	35
Figura 4 - Variograma do dados de precipitação média do período.....	36
Figura 5 - Variograma do dados de precipitação no ano de 2013.....	37
Figura 6 - Validação Cruzada para a média do período.....	37
Figura 7 - Validação Cruzada para o ano de 2013.....	38
Figura 8 - Distribuição espacial da precipitação média do período.....	39
Figura 9 - Distribuição espacial da precipitação no ano de 2013.....	40
Figura 10 - Saldo de precipitação no ano de 2013.....	41
Figura 11 - Histograma da precipitação média do período.....	42
Figura 12 - Histograma da precipitação acumulada do verão 2013-14.....	42
Figura 13 - Variograma do dados de precipitação média do período.....	43
Figura 14 - Variograma do dados de precipitação do verão 2013-14.....	44
Figura 15 - Validação cruzada da Krigagem para a média do período.....	44
Figura 16 - Validação cruzada da Krigagem para o verão 2013-13.....	45
Figura 17 - Distribuição espacial da precipitação média do período.....	46
Figura 18 - Distribuição espacial da precipitação no verão 2013-2014.....	47
Figura 19 - Saldo de precipitação no verão 2013-14.....	48

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo das Características Físicas da Bacia do Rio Pardo.....	24
--------------------------------------------------------------------------	----

1. INTRODUÇÃO

A água é o recurso natural fundamental para todas as formas de vida. Sem água não se vive. A garantia de uma fonte de oferta segura e contínua de água é uma preocupação de todo o mundo, visto o cenário atual de crescimento populacional desordenado, o desconhecimento sobre as variabilidades climáticas e a crescente poluição dos recursos hídricos. Ambos os extremos são prejudiciais: chuvas em excesso podem provocar cheias e consequentes inundações em habitações em áreas de risco, gerando grandes prejuízos econômicos e perdas de vidas humanas; enquanto a falta de chuvas prejudica as atividades econômicas, agricultura, abastecimento urbano, geração de energia, ecossistemas dependentes, entre outros.

A Geografia se propõe a estudar o espaço e as dinâmicas inseridas no mesmo. Desse modo, essa ciência observa os efeitos causados pelo homem no meio natural. As informações necessárias para uma avaliação dos aspectos ambientais, inseridos no espaço, podem ser trabalhadas de maneira mais fácil e rápida através das geotecnologias. A análise das condições qualitativas de um rio depende do conhecimento das condições quantitativas, por exemplo.

A precipitação além de abastecer os rios é fonte de recarga dos aquíferos, e os mesmos contribuem para a perenização dos cursos d'água. Nota-se um efeito em cascata de problemas, gerados pela redução de precipitação, que é o principal *input* de água nas bacias hidrográficas.

A bacia hidrográfica pode ser entendida como um recorte espacial para a análise do pesquisador, pois contempla diversas atividades e interesses em sua área. O manejo da bacia hidrográfica é de extrema importância para promover o desenvolvimento de maneira sustentável, visto que os recursos hídricos são os mais afetados pelo crescimento desordenado das cidades.

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

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

A importância econômica e social da água como fonte de abastecimento urbano e industrial, geração de energia, via de transporte e meio de diluição de efluentes domésticos e industriais, reforça o papel da bacia hidrográfica como unidade básica de planejamento e gestão.

Hoje em dia se observa uma maior demanda sobre os recursos hídricos gerando diversos impactos na bacia. Os efeitos antrópicos como a alteração no uso do solo através do desmatamento da mata nativa para a implementação de diferentes práticas agrícolas; a construção de reservatórios de diferentes dimensões a montante da bacia, provocando o aumento de evaporação do lago; e a retirada de água para usos consuntivos, provocam alterações na vazão dos rios e podem prejudicar a disponibilidade e também a qualidade da água disponível, devido à redução da capacidade de diluição dos corpos d'água.

O principal desafio das sociedades atuais é combinar o desenvolvimento econômico com a evolução das comunidades em ambientes sociais e culturais de modo sustentável, garantindo para as gerações futuras o acesso aos recursos naturais. Os problemas não podem ser estudados de maneira isolada, é necessária uma visão sistêmica, principalmente para os pesquisadores das ciências naturais.

A bacia hidrográfica como unidade de análise e planejamento ambiental, torna possível avaliar de forma integrada as ações causadas pela ação antrópica através dos múltiplos usos da água no meio ambiente, o que permite a realização de estimativas sobre os impactos no regime hidrológico.

O monitoramento da precipitação pluviométrica é uma excelente ferramenta de planejamento de gestão dos recursos hídricos. Dados concretos podem estabelecer padrões para análise e previsão de eventos extremos, reduzindo, dessa maneira, os impactos sociais e econômicos.

O ano de 2014 foi caracterizado por uma persistente estiagem na região Sudeste do Brasil, associada a um bloqueio atmosférico. A redução da precipitação afetou significativamente a recarga dos reservatórios de abastecimento populacional ao longo de toda região Sudeste do Brasil, e a falta de planejamento por parte do governo do Estado de São Paulo estendeu a crise hídrica para os anos seguintes.

O Estado de São Paulo possui uma malha relativamente densa de estações meteorológicas gerenciadas por órgãos públicos e privados, porém com grandes lacunas no território. Os dados de estações, em geral, contêm erros de diversas fontes o que faz com que

muito tempo de pesquisa seja gasto na correção dos dados. Em bacias hidrográficas, o fato de não possuir uma malha regular de pontos de amostragem, faz com que as estimativas de precipitação não tenham uma boa precisão em relação aos dados estimados em áreas não amostradas.

A bacia escolhida para o presente estudo foi a do Rio Pardo, que fica localizado na região Centro – Oeste do estado de São Paulo. A bacia hidrográfica está inserida na Unidade de Gerenciamentos de Recursos Hídricos – 17 (UGRHI-17), que contém os rios tributários do Médio Paranapanema. Da sua nascente no município de Pardinho – SP até sua foz em Salto Grande – SP, o Rio Pardo passa por 14 municípios percorrendo 264 km de extensão.

Ao longo desse percurso suas águas são utilizadas para múltiplos usos como: abastecimento urbano, geração de energia, irrigação de culturas e pastagens, dessedentação de animais, despejo de esgoto, turismo e navegação. Fica claro que deve haver um gerenciamento das práticas sociais e um monitoramento das variáveis hidrológicas para que os impactos da utilização desse recurso sejam reduzidos ao mínimo.

O Rio Pardo é utilizado em diversos municípios para o abastecimento de água e tratamento de esgoto, sofrendo assim grande impacto a cerca dos serviços oferecidos por esse ecossistema. O regime de chuvas é extremamente importante para o rio, pois auxilia na manutenção da vazão e na redução da quantidade de matéria orgânica que é lançada através dos esgotos, reduzindo conseqüentemente o consumo de oxigênio na água e permitindo a resiliência do sistema.

Para que fosse realizada a estimativa de precipitação para toda a área da bacia, os dados foram obtidos através de sensoriamento remoto e os mapas foram elaborados através de técnicas de geoprocessamento.

Com o avanço das tecnologias houve um desenvolvimento das ciências que passaram a utilizar cada vez mais aparatos tecnológicos a seu favor. Foi o caso da geografia, que sofreu uma adaptação a partir da metade do século XX. O desenvolvimento dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) possui estreita relação com a evolução dos hardwares e softwares, que conseguiram processar e quantificar de maneira mais rápida uma gama ainda maior de dados.

Ao mesmo tempo, após a corrida espacial, foram lançados diversos satélites para coletar informações sobre o espaço e sobre as condições da atmosfera e superfície terrestre. Nesse sentido, cabe destacar o papel do sensoriamento remoto como uma poderosa

ferramenta em estudos para análise do espaço geográfico. Em se tratando de dados de precipitação, atualmente satélites ambientais monitoram em período integral as condições atmosféricas da Terra, fornecendo com precisão dados da quantidade de chuva presente nas nuvens.

O presente estudo utilizou dados do satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) que foi lançado em 1997 através de uma parceria entre a agência espacial norte-americana (NASA) e a agência de exploração aeroespacial do Japão (JAXA), com o objetivo de registrar os níveis de precipitação nos trópicos. A vantagem de utilização desse equipamento está justamente na resolução espacial, pois permite a estimativa de precipitação para grandes áreas de maneira mais econômica e rápida, pois não exige o deslocamento a campo para obtenção dos dados em pluviômetros ou pluviógrafos.

Assim foi possível realizar os mapas para a análise da distribuição espacial da chuva, visto que esse fenômeno apresenta complexa variabilidade espacial e temporal. A partir dessa análise é possível estabelecer onde foram as áreas que mais sofreram com a estiagem, e assim planejar as ações para mitigar os efeitos de eventos extremos que venham acontecer futuramente.

O monitoramento das variáveis hidrológicas é desse modo, uma forma de avaliar as possíveis alterações causadas pela ação antrópica, e a integração dos dados através dos SIG's permitem realizar inferências e correlações a respeito dos fenômenos observados.

2. JUSTIFICATIVA

O monitoramento das variáveis hidrológicas é importante para avaliar os impactos antrópicos nos recursos naturais. O estudo deve auxiliar na tomada de decisões quanto a assuntos de diferentes interesses na área agrícola e urbana, visto a importância da bacia hidrográfica para o desenvolvimento econômico da região que deve estar aliado a um modelo sustentável.

A grande variabilidade de disponibilidade hídrica, tanto no tempo como no espaço, demonstra a necessidade da permanente quantificação da precipitação pluvial, que é a principal entrada de água na bacia hidrográfica.

Devido às condições de estiagem observadas no estado de São Paulo no ano de 2014, se faz necessário um estudo acerca das mudanças no regime de chuvas para a bacia hidrográfica do Rio Pardo. Portanto a inexistência de análises nessa linha de pesquisa para a área de estudo, aliado a necessidade de informações do gênero para o auxílio de gestores públicos reforçam ainda mais a importância desse trabalho.

Os produtos obtidos através de sensoriamento remoto tem se mostrado promissores em estudos ambientais. O fato do acesso remoto aos dados já é um grande avanço, pois permite redução nos gastos com idas a campo e equipamento, que se tratando de uma bacia com área relativamente grande como a do Rio Pardo tornar-se-ia muito dispendioso o planejamento do trabalho.

Entretanto as visitas a campo são necessárias para o conhecimento da área estudada, porém estas podem ser mais pontuais e objetivas através da identificação de áreas com anomalias. Para se avaliar os impactos causados pela variação dos fenômenos ambientais é fundamental o conhecimento da dinâmica econômica e social ao longo de toda bacia hidrográfica.

Através das análises estatísticas dos dados de precipitação é possível correlacionar às alterações com algum aspecto em particular, e desse modo verificar o grau de significância dessa alteração na disponibilidade de água, auxiliando o gerenciamento dos recursos hídricos.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho foi estimar o volume de água precipitado na bacia do Rio Pardo através de dados obtidos através de sensoriamento remoto, e caracterizar a bacia quanto à variação espacial e temporal do fenômeno buscando padrões de distribuição utilizando técnicas de geoprocessamento.

3.2 Objetivos específicos

- 1 – Realizar a análise exploratória da precipitação acumulada no ano de 2013 e comparar com a média anual de 2001 a 2011.
- 2 – Realizar a análise exploratória da precipitação acumulada no verão de 2014/2014 e comparar com a média dos verões de 2001 até 2014.
- 3 – Verificar qual o modelo teórico melhor se adequa a variância dos dados, para realizar a interpolação por Krigagem.
- 4 – Gerar os mapas de precipitação acumulada para o período estudado.
- 5 – Gerar um mapa de saldo de precipitação para identificação das áreas mais afetadas pela escassez.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1 Variabilidade climática e precipitação

A climatologia estuda a interação entre os elementos climáticos e os fatores geográficos. Os elementos climáticos são as grandezas atmosféricas que podem ser medidas ou mensuradas, sendo os principais: a temperatura, a umidade do ar, a pressão atmosférica e a radiação solar e a precipitação. Os fatores geográficos influenciam na variação espacial e temporal, dos elementos climáticos, e são eles: a latitude, a altitude, a maritimidade, a continentalidade, a vegetação e a ação antrópica. Todos esses elementos estão presentes na circulação e na dinâmica atmosférica, garantindo uma troca de energia constante entre as regiões do globo terrestre.

Segundo Ayoade (1992, p.80) a circulação geral da atmosfera é dirigida pelo desequilíbrio na radiação, na umidade, no momentum e na massa entre as baixas e altas latitudes. A circulação atmosférica envolve processos de diferentes escalas, que acontecem na troposfera e possuem estreita relação entre si. Suas dimensões vão desde a escala da microclimatologia até a macroclimatologia.

A atmosfera terrestre é formada por um conjunto de gases, presos ao planeta pela atração gravitacional, cujos movimentos são descritos pelas leis da mecânica dos fluidos e da termodinâmica. A movimentação do ar é alimentada pela repartição desigual da energia solar e influenciada diretamente pela rotação da Terra. O conjunto dos movimentos atmosféricos que, na escala planetária, determina zonas climáticas e, nos diferentes lugares do planeta, define tipos de tempos, denomina-se circulação geral da atmosfera. (MENDONÇA, 2007, p.83-84).

A região tropical, devido a sua posição latitudinal no Globo, recebe a maior parcela de radiação, concentrando os maiores níveis de precipitação do Planeta. Esse fator reforça a necessidade de series históricas de dados de precipitação com boa representatividade, de modo a permitir o conhecimento do comportamento climático e a identificação de possíveis alterações.

A variabilidade climática e a representatividade da amostra são condicionantes semelhantes, já que a falta de representatividade de uma amostra de dados observados pode não mostrar todas as variabilidades da população estatística da série (TUCCI, 2003, p.2-3).

O Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC, 2001) define Mudança Climática (Climate Change) como as mudanças de clima no tempo devido à variabilidade natural e/ou resultado das atividades humanas (ações antrópicas).

Ayoade (2007, p.206), descreve da seguinte forma o conceito de mudança climática:

Por um longo período de tempo, as flutuações climáticas podem ocorrer de tal forma que passam a provocar uma mudança no tipo de clima predominante sobre determinada área. Neste caso, falamos de mudança no clima ou mudança climática.

A variabilidade climática se refere às flutuações das condições meteorológicas. Nas regiões tropicais, a variabilidade da precipitação pluviométrica influencia diretamente as sociedades, condicionando as relações econômicas e sociais no espaço. Diversas atividades econômicas dependem do regime pluvial, e são prejudicadas por eventos extremos como secas e inundações. A previsão de anomalias deve auxiliar na tomada de decisões para que as perdas sejam minimizadas, evitando cenários de crise.

Ayoade (2007, p.2), afirma que o clima, particularmente perto da superfície, é influenciado pelos elementos da paisagem, da vegetação e do homem. Esse fato deve ser levado em consideração devido às constantes mudanças no uso do solo e a falta de conhecimento sobre os impactos gerados por essa ação no balanço hídrico local.

De acordo com Tucci (2003, p. 6), o impacto do clima sobre os recursos hídricos é um fato de grande relevância social e ambiental. Em situação extrema, pode comprometer a sustentabilidade da sociedade e da conservação ambiental.

4.2 Ciclo hidrológico

Segundo Paiva *et al.* (2003) a complexa heterogeneidade de solos, vegetação e topografia, cada uma delas com sua escala própria, e suas interações com estímulos meteorológicos que variam no tempo e no espaço produzem efeitos complexos. Essa concepção leva em consideração o fato de que os processos hidrológicos podem apresentar comportamentos distintos de acordo com as escalas espaço-temporais analisadas.

O ciclo hidrológico deve ser analisado, dentro de seus componentes, de acordo com a dinâmica de sua ocorrência e sobre as características do sistema envolvido. A dinâmica abrange as mudanças das variáveis no tempo e no espaço, enquanto que o espaço incorpora também as características do sistema (solo, cobertura, oceano, etc.), que apresentam poucas variações em curtos espaços de tempo (PAIVA et al, 2003, p.15).

De acordo com Giampá et al. (2013), o ciclo hidrológico é o comportamento entre a superfície do planeta Terra e a atmosfera que a envolve. O sol fornece a energia para que haja esse movimento. O ciclo da água ou ciclo hidrológico inicia-se a partir da radiação solar. É ela quem vai impulsionar a evaporação da água nos oceanos e a evapotranspiração na superfície terrestre.

Como a área dos oceanos representa aproximadamente 70 % da superfície da Terra, enquanto que a parte terrestre ocupa apenas 30 %, o volume anual de evaporação dos oceanos é cerca de sete vezes maior do que o volume de evapotranspiração da superfície terrestre, fazendo com que os oceanos sejam a principal fonte de precipitação sobre a terra (SANTOS et al, 2001, p.23).

O vapor produzido é condensado e formam as nuvens, essas tem o papel de transportar o vapor de água. Quando as nuvens atingem o estado de saturação, a água precipita sobre o continente ou o oceano.

O sistema de circulação da atmosfera é extremamente dinâmico e não-linear, dificultando sua previsão quantitativa. Esse sistema cria condições de precipitação pelo resfriamento do ar úmido que forma as nuvens gerando precipitação na forma de chuva e neve (entre outros) sobre os mares e superfície terrestre. A água evaporada se mantém na atmosfera, em média apenas 10 dias (TUCCI, 2003, p.31).

Uma parcela da chuva, durante sua queda para a superfície, evapora e se mantém na atmosfera. A outra parte cai sobre os oceanos e os continentes. No continente, a chuva que cai sobre folhagens de cobertura vegetal pode ficar retida pelas folhas, escoando lentamente para o solo através do tronco das árvores. Essa fase do ciclo é conhecida como interceptação.

Segundo Tucci (2003), a parcela inicial da precipitação é retida pela vegetação; quanto maior for a superfície de folhagem, maior a área de retenção da água durante a precipitação.

Giampá et al. (2013), descrevem a fase do escoamento da seguinte maneira:

A água que atinge o solo poderá se infiltrar na camada superficial da Terra, alimentando o escoamento subterrâneo ou sub-superficial. Quando a camada de solo se satura, uma parte da água começa a escoar pela superfície da Terra: fase do escoamento superficial. A água escoada atinge a rede de drenagem natural ou artificial e se dirige para oceanos ou lagos.

A água que atinge o solo pode infiltrar ou escoar superficialmente, isso vai depender da capacidade de infiltração do solo. No espaço urbano quase não há infiltração, devido à existência de áreas totalmente impermeabilizadas. A mecanização intensa em ambiente rural pode provocar a compactação do solo e conseqüente aumento do escoamento superficial.

A capacidade de infiltração depende do tipo e do uso do solo. Normalmente, a capacidade de infiltração de solos com floresta é alta, o que produz pequena quantidade de escoamento superficial. Para solos com superfície desprotegida que sofre a ação de compactação, a capacidade de infiltração pode diminuir dramaticamente, resultando em maior escoamento superficial (TUCCI, 2003, p.34-35).

A água infiltrada no solo, pode percolar para o aquífero ou gerar um escoamento sub-superficial até a superfície através de uma nascente de contato, ou um curso d'água. A água que percola no aquífero se armazena e é transportada para os rios, mantendo o fluxo perene dos mesmos durante períodos de estiagem. Após atingir a capacidade de infiltração, o solo se satura, e a partir desse momento é gerado o escoamento superficial.

De acordo com Tucci (2003), o escoamento superficial converge para os rios que formam a drenagem principal das bacias hidrográficas. O escoamento em rios depende de várias características físicas tais como a declividade, rugosidade, seção de escoamento e obstruções ao fluxo.

Os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo: vertical e longitudinal. O fluxo vertical é representado pelos processos de precipitação, evapotranspiração, umidade e fluxo no solo. O fluxo longitudinal é representado pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) e do sub-solo (escoamento subterrâneo).

A partir desse momento podemos delimitar um recorte espacial, que será o objetivo da análise desse estudo, de modo a permitir a análise dos impactos da redução da precipitação em uma área pré-definida. Segundo SANTOS et al. (2001):

Dentro do interesse mais restrito da hidrologia destaca-se, como já foi mencionado, a chamada "parte terrestre do ciclo hidrológico", onde a atmosfera e os oceanos (ou outros destinos da água escoada) são substituídos por

condições de contorno adequadas. A principal vantagem desse método é que se pode voltar a atenção para uma extensão limitada da terra, “uma bacia hidrográfica”, que constitui a unidade espacial natural da hidrologia.

4.3 A bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica é uma área drenada por um curso d'água, que tem seu perímetro delimitado pelo divisor de águas, sendo esse definido pela topografia. É a área de captação natural da água precipitada fazendo convergir todo escoamento para um único ponto de saída. O divisor é a linha que divide a água da chuva que precipitam nas bacias vizinhas, e que direciona para qual bacia será o escoamento.

Segundo Tucci (1993), a bacia hidrográfica:

Pode ser considerada como um sistema físico onde a entrada de água é produto da precipitação e a saída é o volume de água escoada superficialmente, levando-se em consideração as diversas perdas intermediárias como evaporação, transpiração e as perdas por percolação profunda.

Santos et al. (2001) define como bacia hidrográfica de um rio em um dado ponto a superfície limitada por um contorno, dentro do qual toda a água precipitada, quando não é evaporada, infiltrada ou retida escoar para aquele ponto.

A bacia hidrográfica ou bacia de drenagem é uma área da superfície terrestre que drena água, sedimentos e materiais dissolvidos para uma saída comum, num determinado ponto de um canal fluvial. O limite de uma bacia hidrográfica é conhecido como divisor de drenagens ou divisor de águas. A bacia de drenagem pode desenvolver-se em diferentes tamanhos, que variam desde a bacia do Amazonas, com milhões de quilômetros quadrados, até bacias com poucos metros quadrados que drenam para a cabeça de um pequeno canal erosivo ou simplesmente, para o eixo de um fundo de vale não canalizado (COELHO NETO, 1994).

Segundo Lima (2006) uma bacia hidrográfica compreende toda a área de captação natural da água da chuva que proporciona escoamento superficial para o canal principal e seus tributários. O limite superior de uma bacia hidrográfica é o divisor de águas (divisor topográfico), e a delimitação inferior é a saída da bacia (confluência).

Para Villela e Mattos (1975), o divisor une os pontos de máxima cota entre bacias, o que não impede que no interior de uma bacia existam pontos isolados com cota superior a qualquer ponto do divisor.

As características físicas da bacia hidrográfica vão influenciar no comportamento hidrológico da mesma, e no modo como ocorre a interação entre a água superficial e subterrânea. As atividades inseridas na bacia representam os múltiplos usos da água, e estão associadas às práticas exercidas pelo homem no espaço natural. O uso e ocupação da terra alteram a qualidade e a quantidade de água presente nos recursos hídricos, sendo desse modo o manejo da bacia hidrográfica essencial para o desenvolvimento sustentável das sociedades.

De acordo com Christofletti (1974) a área drenada por um sistema fluvial é definida como bacia de drenagem, e essa rede de drenagem depende não só do total e do regime das precipitações, como também das perdas por evapotranspiração e infiltração. As características físicas da bacia vão influenciar diretamente no balanço hídrico da mesma.

As características físicas de uma bacia são elementos de grande importância em seu comportamento hidrológico. Há estreita correspondência entre o regime hidrológico e estes elementos, pois, ao estabelecerem-se relações e comparações entre eles e os dados conhecidos, pode-se determinar indiretamente os valores hidrológicos em seções ou locais de interesse nos quais falem dados ou em regiões onde não seja possível a instalação de redes hidrométricas.

As principais características físicas de uma bacia hidrográfica são: área de drenagem, coeficiente de compactidade, fator de forma, ordem dos cursos d'água, densidade de drenagem, declividade da bacia, curva hipsométrica, declividade do curso de água (VILLELA E MATTOS, 1975).

A bacia hidrográfica se constitui como a unidade espacial mais adequada para o planejamento e gestão dos recursos hídricos por ser definida pela própria natureza. A administração desses recursos é imprescindível para garantir o abastecimento necessário ao ambiente urbano e as atividades produtivas, sendo necessários fundamentos técnicos, legais e institucionais para o seu gerenciamento, como a outorga e a cobrança pelo uso.

As pressões sobre os usos dos recursos hídricos provêm de dois grandes problemas que são o crescimento das populações humanas e o grau de urbanização e aumento das necessidades para irrigação e produção de alimentos. A redução no volume disponível e a apropriação dos recursos hídricos em escala maior e mais rápida têm produzido grandes alterações nos ciclos hidrológicos regionais: por exemplo, a construção de barragens aumenta

a taxa de evaporação (hidrelétricas), a construção de canais para derivação de águas produz desequilíbrios no balanço hídrico, a retirada de água em excesso para irrigação, diminui o volume de rios e lagos. Igualmente importante do ponto de vista qualitativo é o grau de urbanização que interfere na drenagem e aumenta o escoamento superficial, diminuindo a capacidade de reserva de água na superfície e nos aquíferos. Os impactos qualitativos são inúmeros e variáveis, e têm consequências ecológicas, econômicas, sociais e na saúde humana (TUNDISI, 2003).

Para que o planejamento e o gerenciamento sejam efetivos, é necessário um conhecimento profundo a cerca das características das bacias hidrográficas. Assim um pressuposto básico é o monitoramento dos múltiplos usos, uma vez que o ciclo hidrológico vem sendo modificado, cada vez com mais intensidade, pelas atividades desenvolvidas pelo homem, o que pode ocasionar uma situação de escassez de água, pelo comprometimento das vazões e da qualidade da água disponível.

Isto implica em dispor ao longo do tempo, assim como no espaço geográfico da bacia hidrográfica, de informações relativas às quantidades de água armazenadas, às vazões na rede de drenagem, aos usos dos recursos hídricos e a qualidade da água (PASSERAT DE SILANS *et al.*, 2000).

A medição das variáveis hidrológicas é uma forma de se monitorar os parâmetros relativos ao balanço hídrico de forma a quantificar a mudança na entrada ou saída de precipitação na bacia, porém geralmente os dados de precipitação não são contínuos no tempo e no espaço. Atualmente os satélites ambientais surgem como uma maneira de garantir um banco de dados contínuo, com uma malha de amostragem regular das precipitações, principalmente nos trópicos. Esse fato irá proporcionar no futuro, longas series históricas de precipitação com pouquíssimas falhas de registro.

4.4 Técnicas de Geoprocessamento, SIG's e Sensoriamento Remoto.

De acordo com Xavier da Silva (2000), geoprocessamento é um conjunto de técnicas de processamento de dados, destinado a extrair informação ambiental a partir de uma base de dados georreferenciada. Essa definição não leva em consideração a coleta dos dados como parte do geoprocessamento.

Segundo Rocha (2007):

Simplificadamente pode-se dizer que, com o advento da informática na automação de processos, surgiram várias ferramentas para a captura, armazenamento, processamento e apresentação de informações espaciais georreferenciadas. A ligação técnica e conceitual destas ferramentas levou ao desenvolvimento da tecnologia de processamento de dados geográficos, denominada Geoprocessamento (ROCHA, 2007, p.17).

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.

Rocha (2007) chama atenção para a transdisciplinariedade do geoprocessamento, e define o conceito como uma tecnologia transdisciplinar, que, através da axiomática da localização e do processamento de dados geográficos, integra várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para a coleta, tratamento, análise e apresentação de informações associadas a mapas digitais georreferenciados.

O objetivo do geoprocessamento é utilizar o conjunto de conhecimentos, métodos, equipamentos e técnicas relacionados à informática, aos SIG (Sistema de Informações Geográficas), ao sensoriamento remoto, ao GPS (Sistema de Posicionamento Global), à cartografia digital, ao processamento de imagens digitais, à topografia e demais levantamentos de campo e ao profissional capacitado, fornecendo opções para que os diferentes usuários determinem as características, e a evolução espacial e temporal de um fenômeno geográfico, permitindo a análise das inter-relações entre diferentes fenômenos de interesse (PIROLI, 2013, p.13).

Para Gomes *et al.* (2010), o uso de técnicas de geoprocessamento compreende:

A utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e de Sensoriamento Remoto como ferramentas úteis na estruturação de dados geoambientais locais. Eles possibilitam que informações georreferenciadas, apresentadas em um dado plano de informação temático, sejam cruzadas com outros planos de informação da área-alvo, na mesma escala do anterior, e com resultados advindos de outras técnicas. São, assim, importantes ferramentas integradoras do conhecimento local, no zoneamento agroecológico, na análise da quantidade e disponibilidade dos recursos naturais, entre outras (GOMES *et al.*, 2010, p.85).

Quando se trata de geoprocessamento, estamos falando de informações vinculadas com a superfície da terra através de sistemas de coordenadas de referência. Portanto é necessário, antes de tudo, possuir uma base cartográfica precisa da área, que será o ponto de partida de qualquer SIG.

Todos os dados são trabalhados utilizando as ferramentas dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG's), pois este permite a integração de dados de diferentes naturezas, tornando possível realizar inferências e correlações a respeito dos fenômenos observados. Estes são relacionados a programas de computador que realizam tarefas específicas que envolvem o geoprocessamento.

Segundo Delatorre e Piroli (2012), não se deve confundir o termo geoprocessamento com SIG, pois o primeiro está relacionado a um termo mais abrangente referente a qualquer tipo de processamento de dados georreferenciados, enquanto SIG se refere a sistemas específicos que executam aplicações que envolvem o Geoprocessamento, ou seja, o SIG está relacionado a um conjunto de ferramentas reunidas para a aquisição, armazenamento, manipulação, visualização e análise de dados e informações geográficas.

Os sistemas de informação nos ajudam a gerenciar o que conhecemos tornando simples a tarefa de organizar e armazenar, acessar e recuperar, manusear e sintetizar, além de aplicar o conhecimento na resolução de problemas (Longley *et al*, 2012).

Burrough e McDonnel (2004, p.11), descrevem o SIG como um poderoso conjunto de ferramentas para coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de dados espaciais do mundo real para um conjunto de propósitos específicos.

Segundo Rocha (2007) o SIG é um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, processamento, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos.

Segundo Fitz (2008), o desenvolvimento dos SIGs deve-se entre outros fatores, à evolução do computador (hardware) e de programas específicos (software) que conseguem resolver os problemas de quantificação de maneira mais rápida e eficaz que outrora.

Os SIG começaram de fato a decolar no início dos anos 1980, quando o preço dos computadores caiu a um nível que poderia sustentar a significativa indústria de software e aplicações com bom custo-benefício. Entre os primeiros clientes estavam companhias florestais e agências de recursos naturais, levadas pela necessidade de controlar um vasto recurso florestal e de regular seu uso efetivo (Longley *et al*, 2012, p.18).

Miranda (2010) chama atenção para a importância da análise espacial que pode ser realizada com um SIG e se concentra na análise e modelagem na qual o SIG é visto mais como uma ciência de informação espacial do que uma tecnologia.

A análise das interações entre o meio ambiente e a sociedade, deve ser sustentada por um banco de dados consistente. A fim de monitorar e mapear as mudanças, são necessários programas computacionais que permitam a integração dos diferentes aspectos, capturando, armazenando e modificando informações sobre os recursos naturais, obtidas através da tecnologia espacial (sensoriamento remoto e SIG).

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.

O fato de esses programas permitirem a integração de diferentes aspectos do ambiente observado, de forma mais rápida, tem sido o principal motivo de sua utilização pelos pesquisadores. Existem inúmeros trabalhos na literatura, que foram realizados utilizando esses aplicativos para análise espacial de precipitação em bacias hidrográficas.

Porém, as análises de precipitação, geralmente utilizavam dados pontuais de pluviômetros instalados ao longo da bacia, o que requer uma densa malha de amostragem em bacias relativamente grandes, que é dificultada por problemas técnicos e de investimento. Geralmente quem trabalha com esse tipo de dado, se esbarra em problemas como a falta de dados por motivos diversos, o que compromete a qualidade da análise. Os satélites meteorológicos surgem como uma alternativa para a estimativa dos níveis de precipitação através dos sensores remotos, permitindo o monitoramento de grandes extensões territoriais de maneira mais fácil e barata.

Segundo Jensen (2009) o sensoriamento remoto pode ser definido como o processo de aquisição de informações sobre um determinado fenômeno ou componente da superfície terrestre sem haver o contato físico com ele. Para Rocha (2007) o Sensoriamento Remoto é a aplicação de dispositivos que, colocados em aeronaves ou satélites, nos permitem obter informações sobre objetos ou fenômenos na superfície da Terra, sem contato físico com eles.

Novo (1992) define sensoriamento remoto como sendo a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro e da análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

Desse modo, a obtenção de informações é a baseada na interação energia – matéria. Para o sensoriamento remoto, a energia solar é a base de todos os princípios em que se fundamenta essa tecnologia (MOREIRA, 2003). A energia é fornecida pela radiação solar, que em forma de ondas eletromagnéticas interagem com a atmosfera e a superfície terrestre, tendo parte absorvida, refletida e re-emitida.

De acordo com as propriedades do alvo, a intensidade da radiação refletida vai ser diferente, permitindo a identificação de diferentes informações.

Segundo Piroli (2013):

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).

Esses valores de brilho são interpretados pelos computadores na forma de imagens. As imagens possuem uma resolução temporal, espacial, radiométrica e espectral.

A resolução espectral é a capacidade do sensor de detectar variações no comportamento espectral em menores regiões do espectro eletromagnético, está relacionada com a quantidade de bandas e a largura das bandas. Novo (1992) define resolução espectral como uma medida de largura das faixas espectrais e da sensibilidade do sistema sensor em distinguir entre dois níveis de intensidade do sinal de retorno.

A resolução temporal é a frequência de retorno do sensor num mesmo ponto da superfície, em um determinado intervalo de tempo. Essa vai depender das características orbitais da plataforma (altura, velocidade e inclinação), e o ângulo de imageamento do sensor.

Novo (1992) informa que a resolução espacial mede a menor separação angular ou linear entre dois objetos. Ou seja, é a capacidade do sensor de distinguir diferentes objetos baseado na capacidade de imageamento da menor área da superfície. Um sensor com resolução espacial de 1m possui alta resolução, diferente de um sensor com resolução de 250 m, por exemplo.

A resolução radiométrica é a capacidade do sistema sensor em detectar as variações da radiância espectral recebida. Esse valor é traduzido para níveis de cinza, expresso em bits.

De acordo com Novo (1992) os dados de sensoriamento remoto têm ampla 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 feitos com base em dados de sensoriamento remoto, ou seja, nas imagens coletadas por sensores remotos.

Rosa (1995) descreve que a extensão do território brasileiro e o pouco conhecimento dos recursos naturais, aliado ao custo de se obter informações por métodos convencionais, foram os fatores decisivos para o país entrar no programa de sensoriamento por satélite.

Segundo Florenzano (2005), as imagens obtidas através do sensoriamento remoto proporcionam uma visão de conjunto multitemporal de extensas áreas da superfície terrestre. Esta visão sinóptica do meio ambiente ou da paisagem possibilita estudos regionais e integrados, envolvendo vários campos do conhecimento.

Contudo, a principal contribuição do Sensoriamento Remoto veio com as primeiras imagens orbitais do Planeta Terra. Desde então, o homem tem verificado uma grande degradação do meio ambiente terrestre, provocado por uma visão consumidora e descartável dos recursos naturais, como se fossem inesgotáveis, poluindo o solo, a água e o ar e deixando uma perspectiva negativa para as gerações futuras (ROCHA, 2007, p.115).

Nesse estudo, utilizaram-se as imagens do satélite TRMM para obtenção da estimativa de precipitação ao longo da bacia do rio Pardo.

Em 1997, através de uma parceria entre a National Aeronautics and Space Agency (NASA) dos Estados Unidos da América e a National Space Development Agency of Japan (JAXA) do Japão, foi lançado em órbita o satélite Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), com o objetivo de monitorar as precipitações ao longo dos trópicos.

Uma grande quantidade de trabalhos vem demonstrando a precisão do satélite TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission), para estimativas de precipitação através do sensor PR (Precipitation Radar) dentre eles: Nóbrega (2008); Short *et al.* (2000), Liao *et al.* (2009), Fisher (2004); Smith *et al.* , (1998); Adler *et al.* , (2001); Nicholson *et al.* , (2003); Fisher, (2004).

No Brasil a maior parte das pesquisas utilizando o TRMM é para aplicação em hidrologia (COLLISCHONN, 2006; COLLISCHON *et al.*, 2007; NÓBREGA *et al.*, 2008), porém alguns autores destacam que os dados formam uma boa base de informações sobre precipitação, de modo espacial e temporal, permitindo a utilização para estudos climatológicos. (NÓBREGA, 2008).

O TRMM possui uma órbita polar, oblíqua não-heliossíncrona de baixa inclinação e altitude. A faixa de cobertura do satélite fica entre os 35 graus de latitude Norte e Sul, a uma altura de 405 km, permitindo um período de translação curto (91 min) o que garante uma alta resolução temporal. Os instrumentos sensores a bordo do TRMM são: radiômetro no visível e infravermelho (VIRS), radar de precipitação (PR), imageador de micro-ondas (TMI), sensor de energia radiante da superfície terrestre e das nuvens (CERES), e o sensor de imageamento de relâmpagos (LIS).

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

O radar de precipitação possui uma resolução horizontal de 5 km e uma largura de faixa de 247 km, e é o primeiro capaz de produzir mapas tridimensionais das nuvens de precipitação. De acordo com Barrera (2005), em função de ser o satélite melhor equipado em termos de instrumentos para estimativa de precipitação, o satélite TRMM fornece estimativas mais precisas do que as técnicas indiretas, baseadas em imagens de outros satélites.

Os dados de precipitação são estimados através do algoritmo 3B42 do satélite TRMM, que segundo Fensterseifer (2011) se baseia no calor das nuvens para estimar o potencial pluviométrico e faz medições de três em três horas. Os dados são gravados em arquivos HDF, porém podem ser baixados em formato ASCII.

Collischonn *et al.* (2007) estudou a distribuição da precipitação na bacia do Paraguai Superior, onde analisaram e compararam os dados obtidos em campo com os dados obtidos pelo TRMM, e consideraram os resultados satisfatórios, demonstrando que as estimativas de precipitação podem ser uma fonte alternativa de dados em escassez de informação.

Pereira *et al.* (2012) encontrou resultados satisfatórios de correlação entre os dados do TRMM e estações da ANA para todo o território brasileiro, porém identificou áreas em que o satélite superestimou a precipitação em torno de 9%.

Silva (2013) realizou estimativas de precipitação através do TRMM na bacia do médio Paranapanema e comparou com os dados de estações de superfície encontrando alta correlação entre os dados.

Os procedimentos referentes as análises geoestatísticas dos dados de precipitação foram realizadas no software Gs+ v.7 e posteriormente foram inseridos em ambiente SIG através do software ArcGis 10.1.1.

4.5 Geoestatística

A base da geoestatística vem da teoria das variáveis regionalizadas. Segundo esta teoria, a diferença nos valores de uma variável, tomados em dois pontos no campo amostral, depende da distância entre eles (MATHERON, 1962).

Entende-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). Devido às características de variabilidade temporal e espacial, os fenômenos naturais são de difícil interpretação o que torna mais complexa a generalização dos dados coletados.

A estatística básica não leva em consideração a localização das amostras para a elaboração das análises, desse modo a geoestatística surge como uma metodologia adequada para a representação e interpretação de dados que possuam dependência espacial. Essa forma de análise considera a variação espacial dos dados e não somente a análise numérica, visando prever valores minimizando os erros, com isso fornecendo uma melhor representação da realidade devido à dependência espacial das amostras.

Uma premissa fundamental da geoestatística é a esperança que, na média, as amostras mais próximas sejam mais similares entre si do que as que estiverem distantes (ISAACS; SRIVASTAVA, 1989). De acordo com Silva (2010), o conceito chave na análise geoestatística é a dependência espacial entre os dados, afinal vizinhos mais próximos são mais semelhantes dentre de uma amostra de dados. A precipitação é uma variável regionalizada, pois assume um determinado comportamento devido a sua posição no espaço.

Não há um número exato de dados que uma amostra deva conter para uma análise geoestatística, entretanto o mínimo acaba sendo 30 pares de dados devido à exigência para a

construção do semivariograma, mas quanto mais dados forem utilizados, maior será a acurácia dos resultados (SILVA, 2010).

O termo geoestatística acha-se consagrado como um tópico especial da estatística aplicada que trata de problemas referentes às variáveis regionalizadas, as quais têm um comportamento espacial mostrando características intermediárias entre as variáveis verdadeiramente casuais e as totalmente determinísticas. Apresentam uma aparente continuidade no espaço, sendo representadas por funções numéricas ordinárias que assumem um valor definido a cada ponto no espaço e matematicamente descrevem um fenômeno natural (LANDIM, 1998)

A continuidade espacial atribuída as variáveis regionalizadas se deve a tendência que a variável possui de apresentar valores semelhantes quanto mais próximos estiver os pontos, à medida que a distância aumenta os valores começam a se diferenciar.

Segundo Andriotti (2003) regionalização é o caráter estruturado dos fenômenos, e a linguagem que permite trata-los como tal é a das Funções Aleatórias. Em outras palavras: através das funções aleatórias estudamos as Variáveis Regionalizadas

Segundo Guerra (1988), há duas características em comum entre essas variáveis: são aleatórias, pois os valores numéricos variam de um ponto ao outro no espaço; e são espaciais, pois apesar de variar, os valores não são totalmente independentes.

O comportamento de uma variável regionalizada pode, portanto, variar desde uma situação fracamente estacionária, onde os valores esperados da variável, assim como sua covariância espacial, são os mesmos por uma determinada área, até uma situação em que ocorre uma estacionaridade apenas nas vizinhanças de uma zona restrita e os valores esperados variam de maneira regular nessa vizinhança (LANDIM, 1998)

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

De acordo com Landim (1998), o semivariograma mostra a medida do grau de dependência espacial entre as amostras ao longo de um suporte específico. Os semivariogramas expressam, assim, o comportamento espacial da variável regionalizada ou de seus resíduos, e mostram:

- a) O tamanho da zona de influência em torno de uma amostra, pois toda amostra cuja distância ao ponto a ser estimado for menor ou igual ao alcance fornece informações sobre o ponto;
- b) A anisotropia, quando os semivariogramas se mostram diferentes para diferentes direções de linhas de amostragem;
- c) A continuidade, pela forma do variograma, que para $h=0$ $\gamma(h)$ já apresenta algum valor. Essa situação é conhecida como efeito pepita (nugget) e é representada por C_0 .

O semivariograma, segundo Andriotti (2010), é uma função intrínseca que reflete a estrutura do fenômeno estudado medindo as relações estatísticas pelas covariâncias que há entre as amostras. Através do semivariograma é obtida uma função capaz de estimar a dependência entre os dados vizinhos de uma amostra.

Segundo Silva (2010), o semivariograma é uma ferramenta básica que suporta as técnicas de krigagem e representam de forma quantitativa um fenômeno e a sua variação no espaço.

Para Salviano (1996), o semivariograma vai analisar o grau de dependência espacial entre as amostras dentro de um campo experimental, além de definir os parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, através da técnica de krigagem.

Os parâmetros do semivariograma são o efeito pepita, o alcance e o patamar. O efeito pepita pode ser atribuído a erros de medição ou ao fato de que os dados não foram coletados a intervalos suficientemente pequenos para mostrar o comportamento espacial subjacente do fenômeno em estudo (LANDIM, 1998). Quando o valor do efeito pepita é menor que a distância entre as amostras ocorre o chamado efeito pepita puro, e nesse caso é necessário uma reamostragem dos dados a distâncias inferiores. O alcance indica até onde existe dependência espacial entre os dados da amostra e o patamar é o ponto no qual a partir dele todos os dados são aleatórios e não possuem mais dependência. Existem índices para a quantificação da dependência espacial, um deles é o proposto por Zimback (2001):

$$IDE = \frac{C}{C + C_0} \cdot 100$$

onde: C é o patamar e C_0 é o efeito pepita. Assim, foram criadas quatro classes de dependência espacial: a) variável independente espacialmente – quando a relação entre a componente estrutural e patamar for igual a 0%; b) variável com fraca dependência espacial – quando a componente estrutural for menor ou igual a 25% do patamar; c) variável com moderada dependência espacial- quando a componente estrutural representar entre 25% e 75% do patamar; d) variável com forte dependência espacial – se a relação entre componente estrutural e patamar estiver entre 75% e 100%.

A interpolação dos dados é feita através do método de Krigagem. Segundo Camargo (1998), a diferença entre a krigagem e outros métodos de interpolação é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras. Na krigagem, o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, exceto que aqui os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma experimental que mede a variância dos dados em função da distância entre amostras. Além disso, a krigagem fornece em média, estimativas não tendenciosas e com variância mínima.

Segundo Carvalho *et al.* (2002), a Krigagem faz uma descrição mais acurada da estrutura espacial dos dados e 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 encontrada entre os dados, levando em consideração a dependência estocástica entre os dados.

Segundo Silva *et al* (1998) a principal razão disso é que a krigagem ordinária é um interpolador exato, passando exatamente pelo ponto observado, quando esse é usado no cálculo, contribuindo para sua maior precisão na estimativa quando comparada com outros métodos.

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

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica do Rio Pardo está localizada na região Centro/Sudoeste do Estado de São Paulo, entre os paralelos 22°15' e 23°15' de Latitude Sul e os meridianos 48°15' e 50°00' de Longitude Oeste, fazendo parte da Bacia Hidrográfica do Rio Paranapanema, uma bacia Federal que abrange os estados de São Paulo e Paraná. De acordo com o sistema paulista de gerenciamento de recursos hídricos, a bacia do Rio Pardo é componente da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI – 17).

O relatório zero do Comitê de Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema (CBH-MP) estabeleceu que, para critérios de estudos fossem definidas como principais unidades hidrográficas, aquelas que possuam drenagens de até 4ª ordem segundo a classificação de Strahler (1952). Essas unidades foram utilizadas para estudos na avaliação da disponibilidade hídrica superficial. A bacia do Rio Pardo corresponde à unidade V.

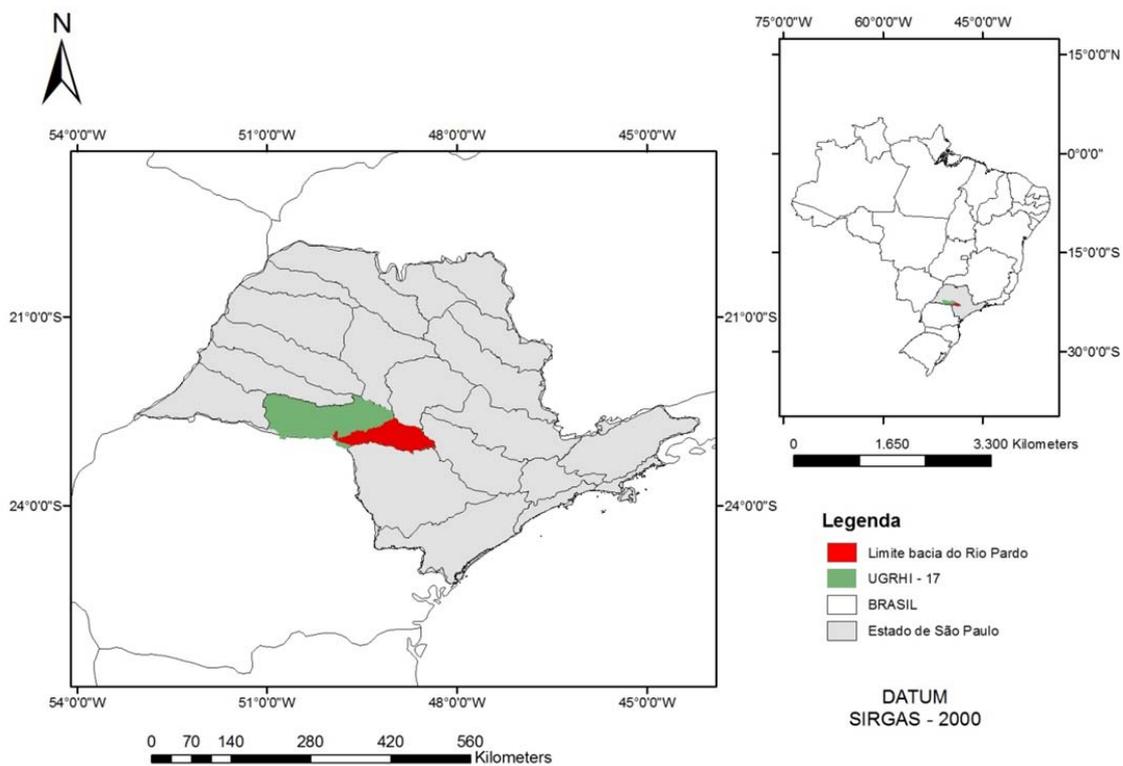


Figura 1 – Localização da bacia do Rio Pardo.

5.1.1 Características Físicas

As características físicas de uma bacia hidrográfica possuem estreita relação com o regime hidrológico da mesma, sendo de extrema importância para a utilização prática. A partir do conhecimento destes elementos é possível estabelecer relações com os dados de precipitação. Pode-se dizer que estes elementos físicos constituem a mais conveniente possibilidade de se conhecer a variação no espaço dos elementos do regime hidrológico. (Vilela *et al*, 1975).

A área de drenagem corresponde a uma área plana (projeção horizontal) inclusa entre os divisores topográficos da bacia hidrográfica, a área de drenagem do rio pardo é de 4.803,12 km². O perímetro é a medida do comprimento do contorno de um objeto bidimensional, no caso a bacia do rio pardo possui um perímetro de 622,10 km². (Vilela *et al*, 1975).

O coeficiente de compacidade é uma relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo de área igual à da bacia. Este coeficiente varia de acordo com a forma da bacia independente do seu tamanho, portanto é um número adimensional. Quanto maior o coeficiente mais irregular é a bacia. Próximo de 1 corresponde a uma bacia circular com maior tendência a enchentes. Na área estudada o coeficiente de compacidade é igual a 2,51.

O fator de forma é a relação entre a largura média e o comprimento axial da bacia. Fator de forma baixo está relacionado a uma bacia longa e estreita, sendo menos suscetível a enchentes, pois a probabilidade que um evento de chuva intensa cubra toda sua extensão é menor. A bacia do Rio Pardo apresenta um fator de forma igual a 0,15.

O índice de circularidade é outra medida que determina a tendência a enchentes da bacia, quanto mais próximo da unidade mais circular a bacia e com maiores chances de ocorrência de cheias. Para a bacia o valor é de 0,16, o que sugere uma bacia alongada.

Pode-se afirmar que a bacia estudada não é sujeita a enchentes como indicado pelo fator de forma, coeficiente de compacidade e o índice de circularidade.

O padrão de drenagem é o formato que apresenta o traçado dos talvegues de uma bacia hidrográfica. Está intimamente relacionado com as características geológicas e tectônicas da área. O padrão dendrítico vem do grego dendros, que significa árvore. Esse padrão assemelha-se com as nervuras de uma folha vegetal, e é comum em rochas sedimentares, porém podem ocorrer também em sedimentos de rochas ígneas.

A orientação da bacia se refere ao sentido do fluxo do canal principal, que no caso do rio Pardo nasce na cuesta da bacia sedimentar do Paraná, próximo ao município de Pardinho – SP e segue para Oeste desaguardo no rio Paranapanema, no município de Salto Grande - SP.

As altitudes mínima, máxima e média estão relacionadas com o relevo da bacia. A maior elevação está a montante e a menor a jusante, correspondendo as nascentes principais e a foz. O comprimento do eixo da bacia está relacionado à distância entre o ponto mais alto e o ponto mais baixo em linha reta.

A ordem da bacia corresponde à hierarquização dos cursos d'água proposta por Strahler (1957), onde os canais sem tributários são de primeira ordem, os canais de segunda ordem são originados pela confluência de dois canais de primeira ordem e assim sucessivamente.

Área de Drenagem (A)	4.803,12 km ²
Perímetro (P)	622,10 km ²
Coefficiente de compacidade (Kc)	2,51
Fator de Forma (F)	0,15
Índice de circularidade (IC)	0,16
Padrão de drenagem	Dendritico
Orientação	Oeste
Altitude Mínima	376 m
Altitude Máxima	1.003 m
Altitude Média	689,5 m
Comprimento do eixo da bacia	176,77 km
Ordem da bacia	5ªOrdem

Quadro 1 – Resumo das Características Físicas da Bacia do Rio Pardo. Adaptado de Piroli (2013).

5.1.2 Características Geológicas

As unidades geológicas que afloram na bacia do rio Pardo correspondem a rochas sedimentares e ígneas da bacia de sedimentar do Paraná, existem também depósitos sedimentares quaternários de origem aluvial em algumas porções da bacia hidrográfica.

De acordo com o Plano de bacia elaborado em 2007 pelo comitê de bacia do Médio Paranapanema, existe a predominância do arenito Bauru nas porções com maiores altitudes. A ocorrência de rochas basálticas, correspondente ao derrame vulcânico, acompanha o leito do rio em toda sua extensão e aflora em maior quantidade próximo a foz do rio Pardo, onde constitui o domínio Serra Geral. Estas unidades formam os dois principais aquíferos livres da região: O Bauru (aquífero poroso) e o Serra Geral (aquífero fraturado). O aquífero guarani está presente confinado pelo Serra Geral, este apresenta vazões da ordem de centenas de m^3/h , sendo utilizado como forma de abastecimento através de poços tubulares por toda a área da bacia.

A unidade correspondente ao Grupo São Bento, Formação Serra Geral (JKsg) originada no período jurrássico – Cretáceo Inferior, ocorre ao longo dos principais canais e a Oeste na foz do Rio pardo. Segundo IPT (1981) os derrames são formados por rochas de cor cinza a negra, afaniticas, possuem espessura variável, desde poucos metros a 50 metros ou mesmo 100 metros.

Compreendem um conjunto de derrames de basaltos toléiticos entre os quais se intercalam arenitos com as mesmas características dos pertencentes à formação Botucatu. Os arenitos da formação Botucatu interdigitam-se, em grande escala, com os derrames da formação Serra Geral, tornando questão complexa a delimitação de ambas, em âmbito regional. A formação Serra Geral é recoberta em discordância angular, geralmente muito disfarçada, pelas várias formações que constituem o Grupo Bauru.

O Grupo Bauru é datado do Cretáceo Superior e na área de estudo foram observadas as ocorrências da Formação Marília (Km) nas porções mais altas a leste e ao centro da bacia. De acordo com IPT (1981) essa formação é composta por arenitos de grosseiros a conglomeráticos, com grãos angulosos, teor de matriz variável, seleção pobre, ricos em feldspatos, minerais pesados e minerais estáveis; ocorre em bancos com espessura média entre 1 e 2 metros. Depositou-se em um embaciamento localizado desenvolvido ao término da deposição Bauru, em situação parcialmente marginal, repousando geralmente sobre a Formação Adamantina (Ka).

A formação Adamantina abrange um conjunto de fácies cuja principal característica é a presença de bancos de arenitos de granulação de fina a muito fina, cor de róseo a castanho, portando estratificação cruzada, com espessuras variando entre 2 a 20 metros.

5.1.3 Características Pedológicas

A partir do mapa elaborado por Oliveira (1999), foi possível identificar a predominância de Latossolos Vermelhos na área da bacia, porém com Nitossolos ao longo de uma porção da calha do Rio pardo.

Os Latossolos vermelhos são em geral solos com boas propriedades físicas, com boa drenagem interna, mesmo os que possuem textura argilosa. Ainda segundo Oliveira (1999) nos Latossolos de textura média, o teor relativamente elevado de areias, confere-lhes uma geometria de poros onde os macroporos são preponderantes. Nessa situação a permeabilidade da água é rápida sendo, portanto, solos que secam rapidamente após a chuva ou irrigação, apresentando no período de veranico, maior possibilidade de estresse hídrico do que solos de textura menos grosseira.

Os Latossolos de textura franco arenosa, devido às baixas coesão e adesão são mais suscetíveis à erosão. Tal fato, contudo é amenizado pelo relevo geralmente aplainado ou suave ondulado onde se encontram tais solos. São normalmente profundos, com textura média (15% e 35% de concentração de argila), e a argila presente é de atividade baixa. Além disso, são pouco filtrantes, o que se traduz num maior risco de contaminação do aquífero livre por agrotóxicos e efluentes diversos (Melo *et al*, 2011).

Quanto aos Nitossolos, estes são constituídos por material mineral, apresentam horizonte B nítico com argila de atividade baixa, imediatamente abaixo do horizonte A, ou dentro dos primeiros 50 cm do horizonte B. As principais limitações desses solos referem-se à erodibilidade relativamente alta, sendo comum a ocorrência de erosão acentuada nas áreas inadequadamente utilizadas.

Além destes, ocorrem também na área duas manchas de Latossolo Vermelho Amarelo, localizadas nas sub-bacias do rio Novo a Sudoeste e do rio Claro a Nordeste, e 4 manchas de argissolos, localizadas a Leste, Norte e Centro-Oeste da bacia do Pardo segundo Oliveira (1999, apud PIROLI, 2013 p.25).

5.1.4 Características Geomorfológicas

As nascentes dos principais afluentes do Rio Pardo estão localizadas na Cuesta da depressão periférica paulista, sob o Planalto residual de Botucatu. Nessa área predominam colinas com topos amplos tabulares. As formas de dissecação são médias, com vales entalhados e densidade de drenagem média a alta, caracterizando-se, portanto, por uma fragilidade potencial média o que torna a área susceptível a atividades erosivas, sobretudo nos setores mais inclinados das vertentes (ROSS;MOROZ,1997).

O centro e a foz da bacia estão localizadas sobre o Planalto Centro Ocidental, onde predominam colinas amplas e baixas. Possuem dissecação baixa e vales pouco entalhados, com densidade de drenagem baixa, devido às características texturais dos solos, os setores de vertentes pouco mais inclinados são extremamente susceptíveis aos processos erosivos principalmente quando desenvolvem escoamentos concentrados (ROSS;MOROZ,1997).

5.1.5 Características Climáticas

De acordo com as classificações de climas zonais do IBGE (2002), o clima da região é caracterizado como Tropical Brasil Central, subquente com temperaturas médias entre 15°C e 18°C em pelo menos 1 mês, úmido com três meses secos.

De acordo com a classificação climática de Köppen (1928), a bacia está inserida na porção Cwa, clima temperado úmido com inverno seco e verão quente. As estações de verão e inverno são bem definidas, com temperatura média do ar nos 3 meses mais frios compreendidas entre -3°C e 18°C, e a temperatura média do mês mais quente maior que 22°C. A região Sul da bacia está situada sobre o clima do tipo Cfa, que é caracterizado por clima temperado úmido com verão quente, ocorrência de precipitação durante todos os meses do ano.

5.1.6 Características Hidrográficas

A bacia hidrográfica do rio Pardo é afluente da margem direita do médio Paranapanema, rio este que desagua na margem esquerda do rio Paraná, ao Sul da área urbana de Rosana, no estado de São Paulo. O rio Pardo tem como principais afluentes o rio Claro pelo lado Norte, na sua margem direita, e o rio Novo pelo lado Sul, na margem esquerda. A foz destes dois rios

está localizada nos municípios de Iaras e Águas de Santa Barbara, respectivamente (PIROLI, 2013).

Uso consuntivo da água pode ser definido como o uso no qual há perda entre o que é derivado e o que retorna ao curso d'água. Desta maneira os usos consuntivos podem ser para uso público (abastecimento urbano) e privado (indústrias, minerações e irrigantes).

A Tabela 1 apresenta os dados de captação superficial e subterrânea a partir de dados do relatório zero e de dados mais recentes (DAEE, 2006) disponíveis no plano de bacia do CBH-MP.

Unidade Hidrográfica	Captações superficiais			Captações subterrâneas - poços				
	Abastecimento público		Particulares	Total	Abastecimento Público		Particulares	Total
	SABESP	Sistemas municipais			SABES P	Sistemas municipais		
Pardo	0,266	0,514	0,274	1,053	0,392	0,025	0,089	0,293

Tabela 1 –Captações superficiais e subterrâneas registradas na unidade hidrográfica Pardo.

Fonte: Plano de bacia CBH-MP (2007).

Os levantamentos foram realizados pelo “Relatório Zero” (CPTI, 1999) da bacia do Médio Paranapanema, os dados foram obtidos nas seguintes instituições: DAEE; Sabesp's e Serviços autônomos de água e esgotos (SAE) das prefeituras; secretaria de agricultura e abastecimento. A estimativa das demandas públicas foi obtida através da somatória dos valores de vazão média diária de captação fornecida pela SABESP e SAEs.

Não foram encontradas vazões captadas para irrigação, devido à inexistência de cadastro desse tipo de atividade pelos órgãos responsáveis pelo controle do consumo de água. Desta forma, o consumo de água para fins agrícolas pode ser estimado a partir de informações sobre áreas irrigadas e de índices de consumo específico de água, que variam de acordo com o local e a cultura. Essas informações podem ser obtidas através de processos de classificação supervisionada, mas esse não é objetivo desse trabalho.

De acordo com a metodologia adotada pelo DAAE (1988 e 1994), um dos parâmetros hidrológicos que traduz a disponibilidade hídrica de uma bacia hidrográfica é a vazão média de

longo período ($Q_{média}$). Este parâmetro informa o limite superior de seu potencial hídrico aproveitável.

Uma forma de relacionar esse parâmetro de disponibilidade hídrica com a demanda para abastecimento urbano, foi proposta pelas Nações Unidas através de uma caracterização utilizando o quociente entre vazão média ($Q_{média}$) anual e o número de habitantes. As classes propostas são as seguintes:

- Menos de 500 m³/hab.ano = situação de escassez;
- Entre 500 a 1.700 m³/hab.ano = situação de estresse;
- Mais de 1.700 m³/hab.ano = situação confortável.

Uma maneira de verificar esses dados é através da razão entre os dados de demandas captadas e a vazão média. Na tabela 2 é possível identificar que a situação da bacia do Rio Pardo é bem confortável em relação à disponibilidade/demanda. Existem, porém, áreas de risco nas pequenas bacias e rios de menor vazão onde o controle das demandas em relação à disponibilidade se faz necessário através de um monitoramento efetivo, a fim de evitar a diminuição da vazão de contribuição desses afluentes ao rio Pardo.

Unidade Hidrográfica	Q_{média} (m³/s) (CPTI, 1999)	Captações Superficiais (revisado de CPTI, 1999)	% captações x Q_{média}	Situação
Pardo	66,77	1,053	1,6	Confortável

Tabela 2 – Situação da Unidade Hidrográfica Pardo, em termos da razão entre captações e Q_{média}.

Embora haja o abastecimento permanente em todas as cidades, as políticas públicas referentes ao tratamento dos lançamentos de esgotos domésticos não foram reestruturadas ao longo do desenvolvimento socioeconômico da bacia hidrográfica. Esse fato, aliado ao aumento populacional, fez com que houvesse um aumento da carga poluidora e a consequente diminuição na capacidade de tratamento devido às condições precárias das estações de tratamento.

O gerenciamento do abastecimento e do tratamento de esgoto é segmentado na unidade hidrográfica, sendo que sete municípios utilizam o serviço autônomo (SAE) das prefeituras e os outros nove são atendidos pela SABESP.

O tratamento de esgoto deve ser considerado como um tema de grande prioridade dentro da bacia, pois não se observa uma evolução nos sistemas de tratamento que

acompanhe o aumento da carga poluidora por parte das cidades. Existem na bacia, captações para abastecimento público a jusante de locais onde há o lançamento de esgoto doméstico não tratado, dificultando e encarecendo o tratamento das águas para abastecimento. É necessário o direcionamento de investimentos nesse setor para garantir o suprimento seguro de água para os municípios que utilizam da água superficial como fonte de abastecimento.

Fica evidente a necessidade de gerenciamento integrado dos recursos hídricos na bacia do rio Pardo, uma vez que os efeitos provocados pelas alterações no regime pluviométrico afetam a saúde pública, devido à alta carga poluidora e a baixa vazão dos rios dificultando a resiliência do meio e o tratamento da água para abastecimento.

As medidas devem se basear em bancos de dados atualizados que forneçam um panorama das condições atuais do balanço hídrico da bacia hidrográfica, de modo a permitir um planejamento adequado para períodos de estiagem em que a vazão dos cursos d'água é mantida, em sua maior parte, pela contribuição do aquífero.

5.1.7 Características do Uso da Terra

De acordo com a CETESB (2006) a bacia do rio Pardo é considerada como agropecuária, com destaque para os usos de pastagem para criação de gado, cana de açúcar, soja, milho, eucalipto e citros. No relatório zero da bacia do médio Paranapanema, foram identificados, com base no Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícola do Estado de São Paulo (Lupa, 1997), os seguintes usos:

- Áreas com cobertura vegetal natural, que são as terras ocupadas com diversos tipos de vegetação natural, incluindo mata natural, capoeira, cerrado, cerradão e campos.
- Áreas de reflorestamento, que compreendem as terras que são destinadas ao plantio de espécies florestais, invasoras (pinus e eucalipto) e espécies nativas.
- Áreas de culturas perenes compreendem as terras ocupadas com lavouras perenes (permanentes), ou seja, que crescem durante o período de anos até se tornar produtivas. Destacam-se as áreas com plantações de laranja e café.

- Áreas de culturas temporárias, que são terras ocupadas por lavouras anuais, isto é, que completam seu ciclo de vida durante uma única estação. São identificadas na bacia principalmente soja e milho.
- Áreas de culturas semi-perenes, que compreendem terras ocupadas com lavouras bienais, isto é, aquelas que completam o seu ciclo num período de duas ou mais estações de crescimento. São representados predominantemente pela cana de açúcar, que tem um ciclo médio de quatro anos, desde o plantio até a renovação dos talhões.
- Áreas de pastagem compreendem as terras ocupadas com espécies forrageiras, utilizadas para alimentação animal.
- Áreas urbanas são constituídas pelas cidades e por seus distritos.

Para uma quantificação exata dos valores de uso para cada classe, faz-se necessário uma classificação dos usos na bacia hidrográfica do rio Pardo, através de imagens de satélite atualizadas. Isso é devido a dinâmica a qual está submetido o uso do solo no ambiente rural ao longo do tempo, estando estritamente associado às relações comerciais desenvolvidas na região.

5.1.8 Desenvolvimento e atual situação da ocupação

Com base no relatório zero, a partir da década de 1960, os avanços tecnológicos contribuíram para a transformação nos processos de ocupação na bacia, diversificando as culturas, e aumentando o processo de mecanização no campo. Esse fato fez com que a demanda por mão de obra diminuísse, provocando um movimento de êxodo rural, onde houve um rápido crescimento dos centros urbanos com maior infra-estrutura, onde os empreendimentos industriais, relacionados a transformação dos produtos agrícolas regionais, se instalaram.

Esse processo provocou uma concentração populacional, estabelecendo dois centros sub-regionais na bacia: Avaré e Ourinhos. Isso afeta a bacia hidrográfica, pois fragmenta o território, criando áreas bastante diferenciadas, com relações econômico-sociais independentes

entre si. Outra característica que norteou o desenvolvimento regional foi as condições de acessibilidade e recursos instalados que favoreceu o desenvolvimento dessas regiões, dada suas posições de integração inter-regional com áreas indutoras ao crescimento da economia local.

Ainda em relação ao saneamento, os dados apresentados no relatório demonstram que os maiores centros regionais são também aqueles com menor tratamento de esgoto. Esse fator aliado ao intenso uso das terras, baseado na agricultura sem manejo, trouxe graves problemas ambientais a região.

O incentivo da expansão da produção de café na década de 1960; de grãos para exportação na década de 1970 e 1980; e a produção da cana de açúcar a partir da década de 1990, provocaram, também, o desmatamento da vegetação natural da bacia.

5.2 Procedimentos Metodológicos

A base cartográfica referente aos limites e a hidrografia da bacia do rio Pardo foi disponibilizada pelo grupo CEDIAP- GEO da UNESP – Campus de Ourinhos, onde foi realizado um levantamento sobre as características das áreas de preservação permanente da bacia com satélites de alta resolução espacial, o que garante uma extrema precisão nos dados.

A base de dados para realização do projeto foi composta pelas cartas topográficas em escala de 1:50.000, sobre as quais foram vetorizadas as nascentes, os corpos d'água e os limites da bacia do rio Pardo e de suas microbacias; por imagens do satélite ALOS (sensores AVNIR e PRISM), dos satélites Landsat 5 (sensor TM) e 7 (sensor ETM), bandas 3, 4 e 5, do satélite CBERS (sensores CCD e HRC), e imagens do satélite QuickBird extraídas do Google Earth. Para serem utilizadas, todas as fontes foram georreferenciadas no sistema UTM, Datum Córrego Alegre (para aqueles dados provenientes das cartas topográficas) e SAD 69. Na etapa final todos os resultados do trabalho foram convertidos para o sistema SAD 69 (South American Datum)(PIROLI, 2013, p.27).

Os dados de precipitação acumulada foram obtidos através dos produtos do algoritmo 3B42 do sensor PR (Precipiton Radar) do satélite TRMM. Os dados estão disponíveis gratuitamente no site da NASA no formato ASCII. Disponível em: <<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/tovas/>>

A precipitação acumulada (mm) foi agrupada por períodos, considerando o verão, referente aos dias 21 de dezembro a 20 de março, dos anos de 2001 a 2011 para elaboração de uma média, e o verão de 2013-2014 para análise das anomalias. Os dados foram organizados através de tabelas do software Excel, e posteriormente a análise geoestatística dos dados foi realizada no 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), utilizando os parâmetros de transformação do IBGE.

Inicialmente foi realizada a análise exploratória dos dados, que consiste em resumir as estatísticas descritivas de tendência central e dispersão dos dados. A partir da análise introdutória se obteve a distribuição das frequências que permite a interpretação visual do comportamento da variável, e definir se a tendência de concentração dos dados é simétrica ou assimétrica.

O próximo passo foi calcular a média aritmética dos valores, o desvio-padrão dos dados, os máximos e mínimos valores encontrados, o coeficiente de assimetria e curtose.

Em seguida foram realizados os ajustes dos variogramas experimentais através dos modelos teóricos de acordo com o comportamento dos dados. O variograma analisa o grau de dependência espacial das amostras e define os parâmetros necessários para a estimativa de valores para locais não amostrados, utilizando a interpolação por Krigagem (Silva *et al*, 2011).

A metodologia escolhida para a interpolação dos dados foi a Krigagem Ordinária. Segundo Camargo (1998), a diferença entre a krigagem e outros métodos de interpolação é a maneira como os pesos são atribuídos às diferentes amostras. Na krigagem, o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, exceto que aqui os pesos são determinados a partir de uma análise espacial, baseada no semivariograma experimental que mede a variância dos dados em função da distância entre amostras. Além disso, a krigagem fornece em média, estimativas não tendenciosas e com variância mínima. Os pontos mais próximos recebem maiores pesos no momento da interpolação, que os pontos distantes.

Após a obtenção dos mapas interpolados, foi aplicada a técnica de álgebra de mapas utilizando a função *raster calculator* do ArcGis para obtenção do percentual de precipitação incidente na área de estudo em relação a média dos últimos 10 anos através da Equação1:

$$Diferença \% = \frac{(Chuva\ Ver\tilde{a}o\ 2013-2014)*100}{Chuva\ M\acute{e}dia\ Ver\tilde{o}es\ 2001-2011} \quad (1)$$

De acordo com Fitz (2008, p.88), é denominada *sobreposição aritmética* quando se usa operadores matemáticos (adição, subtração, multiplicação, etc), para manipulação de camadas raster. Por fim, o mapa contendo as anomalias de precipitação foi reclassificado, exibindo faixas com percentuais de variação.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Análise da precipitação anual

Os valores obtidos através da análise exploratória são apresentados na Tabela 3. É possível identificar que o ano de 2013 apresentou uma redução no valor médio de precipitação em torno de 241,71 mm, o desvio padrão foi quase cinco vezes maior do que a média do período, isso é explicado pela alta variação espacial da precipitação representada pela amplitude dos dados, que foi em torno de 599,06 mm.

Ano	Média (mm)	Desvio Padrão	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Assimetria	Curtose
2013	1.570,01	133,69	1320,26	1919,32	0,40	-0,52
Média decendial	1.811,73	32,01	1753,40	1900,70	0,35	-0,23

Tabela 3. Estatísticas descritivas dos dados de precipitação anual.

A respeito da média decendial, o desvio padrão se manteve relativamente baixo, devido a menor amplitude dos dados. Ambos os valores apresentaram assimetria positiva, e curtose negativa, porém os valores estão próximos de zero o que lhes confere uma distribuição normal dos dados. A seguir são demonstrados os histogramas referentes à distribuição de frequências dos dados de precipitação (Figuras 2 e 3).

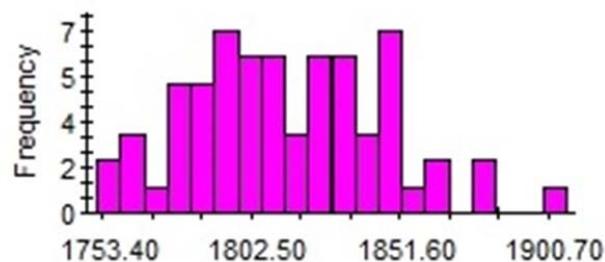


Figura 2. Histograma da precipitação média decendial.

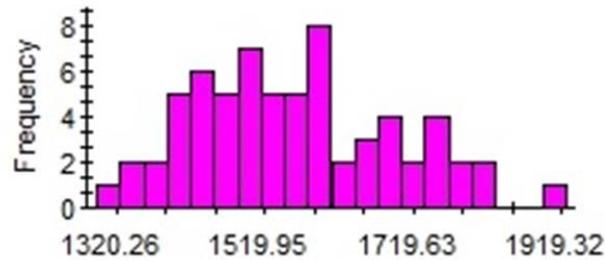


Figura 3. Histograma da precipitação acumulada para o ano de 2013.

Na tabela 4, é possível visualizar os valores obtidos após o cálculo dos variogramas experimentais e o ajuste dos modelos teóricos. O coeficiente de determinação (R^2) próximo da unidade indica que os modelos conseguiram representar a variância dos dados, e que podem ser usados para a interpolação.

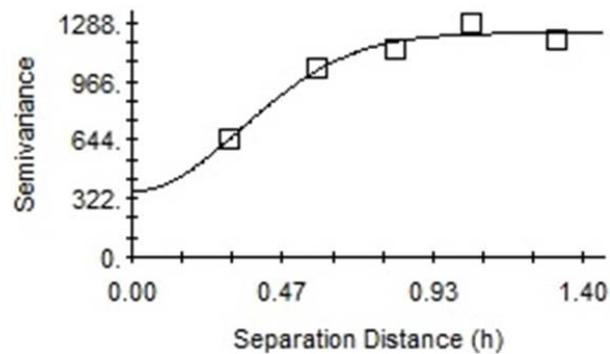
Ano	Modelo	Alcance	Efeito Pepita	Patamar	Coeficiente de Determinação (R^2)
2013	Esférico	1,98	1140,00	23380,00	0,99
Média (01-11)	Gaussiano	0,82	361,00	1233,00	0,97

Tabela 4. Parâmetros do variograma para os dados de precipitação anual.

O modelo teórico que se adequou aos dados de precipitação anual do ano de 2013 foi o modelo esférico de variograma. O alcance foi da ordem de 1,98 km, o que significa que nessa distância os dados são estimados com boa precisão. O efeito pepita encontrado atingiu um valor alto, isso se deve a distância entre as amostras que no caso do TRMM, são da ordem de 5 km. O patamar apresentou um valor alto, porém a partir do alcance os dados são considerados aleatórios e não possuem dependência espacial.

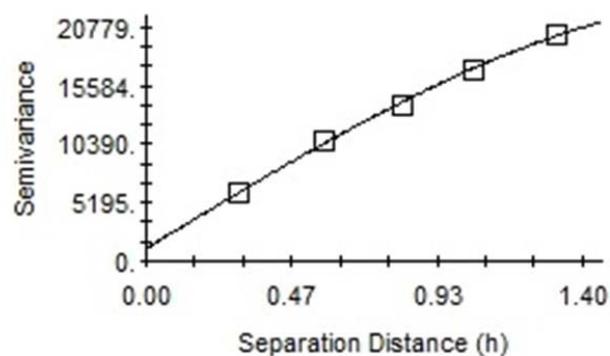
Em relação à média decendial, o modelo teórico que melhor se adequou a variância dos dados foi o Gaussiano, com alcance de 0,82 km, e efeito pepita de 361,00. O patamar

alcançado foi relativamente baixo se comparado com o ano de 2013, isso se deve também, em partes, pelo baixo desvio padrão dos dados. Ambos os conjuntos de dados apresentaram um coeficiente de determinação próximo de um o que lhes confere uma boa estimativa a respeito das áreas não amostradas. Os parâmetros da tabela podem ser visualizados na representação gráfica dos variogramas (Figuras 4 e 5).



Gaussian model ($C_0 = 361.00000$; $C_0 + C = 1233.00000$; $A_0 =$
RSS = 6665.)

Figura 4. Variograma do dados de precipitação média decenal.



Spherical model ($C_0 = 1140.00000$; $C_0 + C = 23380.00000$; $A_0 =$
RSS = 171103.)

Figura 5. Variograma do dados de precipitação no ano de 2013.

O variograma experimental demonstra que o ponto onde o eixo das variâncias (y) é interceptado pela reta do modelo ajustado é chamado efeito pepita. A região de crescimento do modelo representa a dependência espacial dos dados de precipitação, onde após a estabilização da reta os dados são aleatórios e independentes entre si.

Para a confirmação dos dados estimados pela interpolação por krigagem é necessário a realização da 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 é estimar qual a precisão do modelo na prática. Esse processo realizado através da validação cruzada informa qual o valor do coeficiente de regressão. O coeficiente de regressão apresenta o ajuste da equação de regressão linear entre os valores reais ou obtidos experimentalmente e os valores estimados por interpolação (SILVA, *et al.*, 2001). Os resultados da validação para os variogramas ajustados são apresentados nas Figuras 6 e 7.

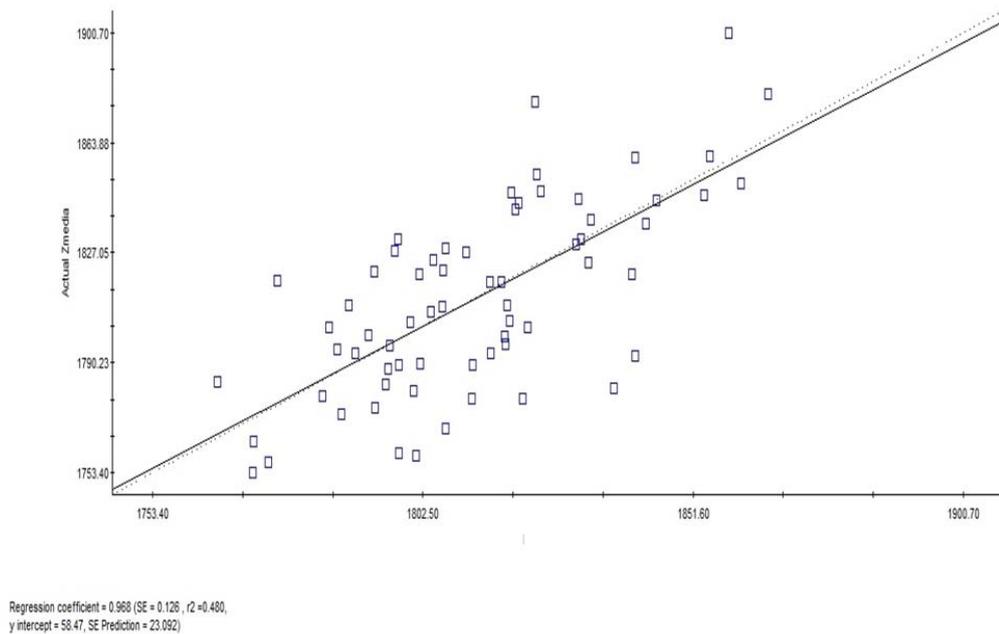


Figura 6. Validação Cruzada para a média decenal.

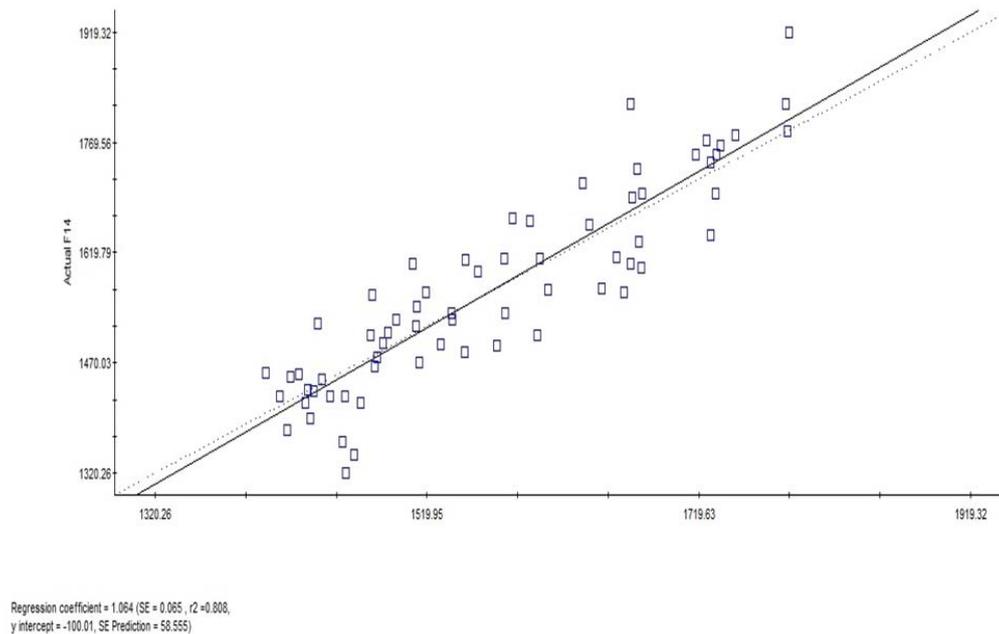
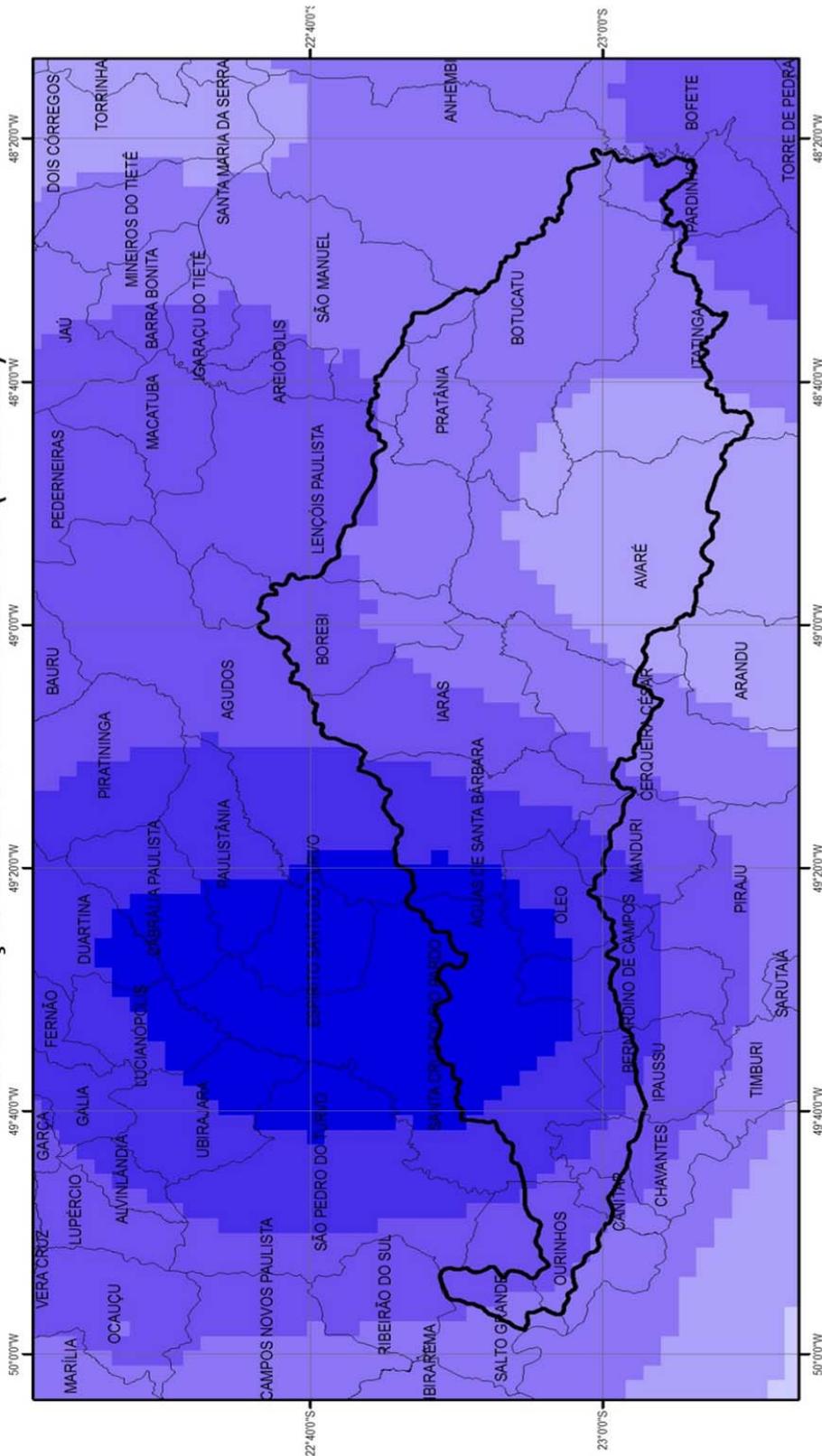


Figura 7. Validação Cruzada para o ano de 2013.

Após a realização do ajuste do modelo e verificada a dependência espacial dos dados, foi realizada a interpolação por Krigagem ordinária. Na krigagem, o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, exceto que aqui os pesos são determinados baseados no semivariograma experimental que mede a variância dos dados em função da distância entre amostras. Dessa maneira foi possível representar continuamente os dados de precipitação, estimando os valores para as áreas não amostradas. Nas Figuras 8 e 9 a seguir são apresentadas as distribuições espaciais da precipitação nos dois períodos de análise.

Através da média anual do período foi possível identificar que o alto Pardo já vinha sofrendo um déficit no nível de precipitação na porção leste da bacia, fato que se agravou no ano de 2013. Os maiores valores de precipitação segundo a média anual estão a Noroeste da bacia, próximo ao divisor de águas. É possível identificar que a precipitação média anual apresenta uma concentração dos maiores valores próximos aos municípios de Santa Cruz do Rio Pardo, Espírito Santo do Turvo, Paulistânia, Cabrália Paulista, Duartina, Lucianópolis, Águas de Santa Bárbara, Ubirajara e São Pedro do Turvo. Todos os municípios, com exceção de uma parcela de Santa Cruz do Rio Pardo e Águas de Santa Bárbara, estão fora da bacia do Rio Pardo, o que indica menores valores de contribuição ao longo da bacia.

PRECIPITAÇÃO ANUAL MÉDIA ACUMULADA (2001-2011)



Legenda

Limite bacia Pardo

Precipitação (mm)

- 1,763.74 - 1,780
- 1,780.01 - 1,800
- 1,800.01 - 1,820
- 1,820.01 - 1,840
- 1,840.01 - 1,860
- 1,860.01 - 1,880



Satélite: Tropical Rainfall Measurement Mission

Dados obtidos através do algoritmo 3B42

Sensor: Precipiton Radar (PR)

Sistema de Coordenadas Geográficas

Datum: SIRGAS 2000

Elaboração: Anderson L. S. Safre

Figura 8. Distribuição espacial da precipitação média do período.

A porção Noroeste da bacia foi a que obteve os maiores valores de precipitação, da ordem de 1.860mm, próximo ao exutório o que também sugere um menor tempo de residência da água na bacia, visto que pelo escoamento a água precipitada irá fluir através do leito do rio Pardo e contribuir para a vazão do Rio Paranapanema.

Os menores valores foram em torno de 1.763mm, e estão localizados no município de Avaré, fato preocupante visto a demanda hídrica e a alta evapotranspiração dessa região devido à represa de Jurumirim. As cabeceiras de drenagem também apresentaram baixo valor de precipitação se comparado com as outras áreas, o que reforça a necessidade do manejo e controle do uso do solo nessa porção da bacia uma vez que a alteração no balanço hídrico local pode prejudicar a bacia como um todo. Entretanto os níveis de precipitação se mantiveram relativamente altos durante o período, sendo da ordem de 1.763mm a 1.880mm.

A seguir é demonstrada a distribuição espacial da precipitação no ano de 2013. A partir desse mapa é possível identificar que a distribuição espacial da precipitação foi muito parecida com a média do período, com algumas variações pontuais, concentrando os maiores valores na borda noroeste da bacia e os menores valores nas cabeceiras de drenagem. Esse fato indica um padrão espacial da precipitação, e reforça a necessidade da criação de áreas para infiltração da água nas cabeceiras de drenagem, uma vez que essa água irá alimentar o fluxo do rio durante o período de estiagem.

A modificação no uso do solo através de práticas agrícolas que venham a compactar o solo ou o aumento de áreas urbanas impermeabilizadas pode afetar diretamente a quantidade de água infiltrada, esse fato associado com o bombeamento de água subterrânea pode comprometer os níveis do aquífero e causar uma série de impactos sociais e econômicos, prejudicando todos os municípios que utilizam das águas superficiais do rio Pardo.

Na Figura 10 é apresentado o mapa obtido através da álgebra de mapas, contendo informações a respeito do saldo de precipitação no ano de 2013.

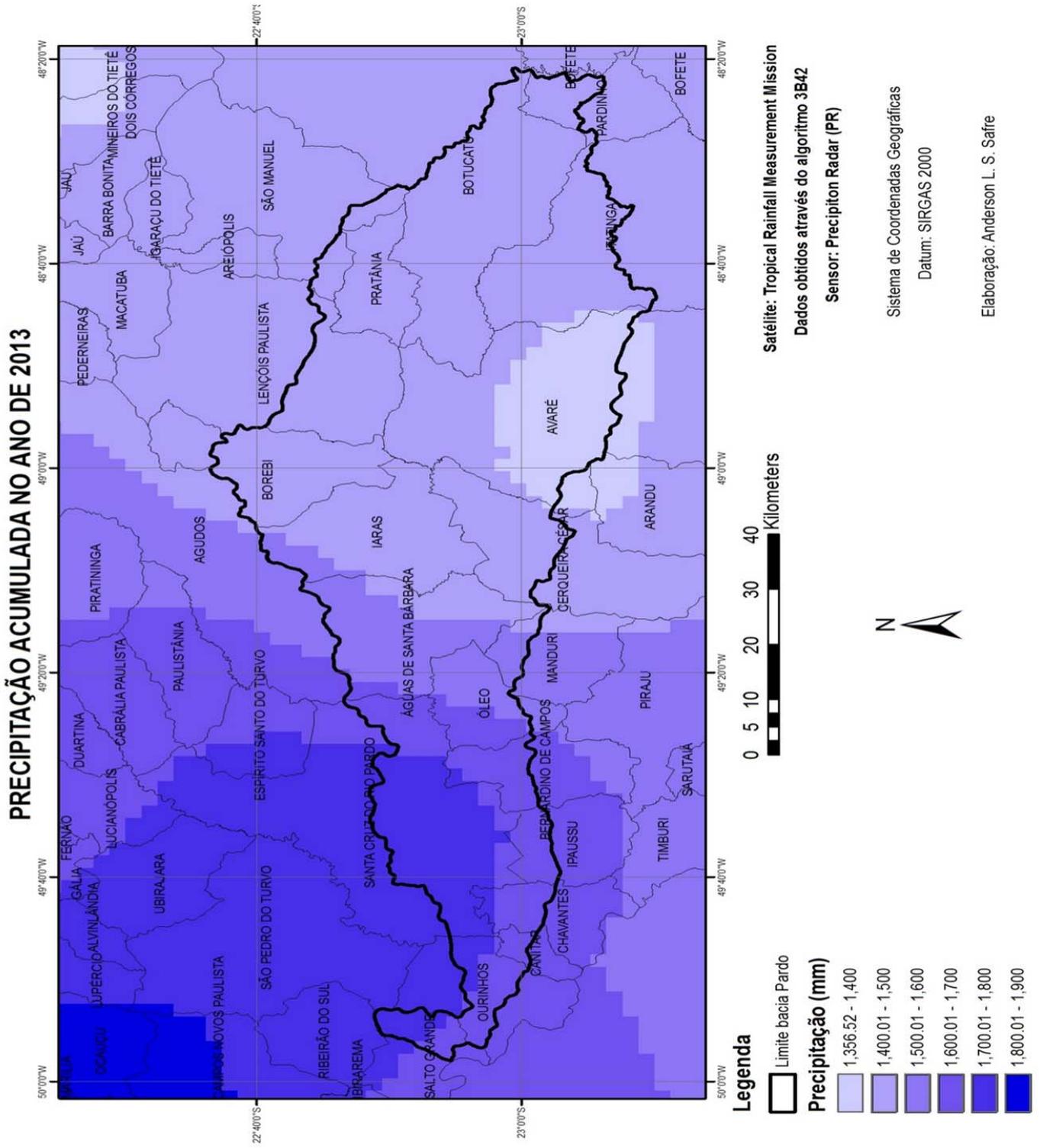


Figura 9. Distribuição espacial da precipitação no ano de 2013.

6.2 Análise da precipitação durante os verões

Os valores referentes às estatísticas descritivas dos dados observados são apresentados na Tabela 5. A partir desses dados foi possível identificar que o verão de 2013-14 apresentou uma redução na precipitação média de 69,49 mm, os mínimos valores apresentaram diferença de 92,28 mm, e os máximos alcançaram 63,77 mm a mais que a média. A redução foi de 12,54% em relação a média.

O desvio padrão dos dados se manteve alto, isso se deve a alta variação espacial da precipitação e a distancia entre as amostras. Também pode-se observar que a média do período apresentou assimetria negativa.

Ano	Média (mm)	Desvio Padrão	Mínimo (mm)	Máximo (mm)	Assimetria	Curtose
2013-2014	484,40	76,71	340,47	715,41	0,36	-0,01
Média 2001-2011	553,89	62,91	432,75	651,64	-0,27	-1,05

Tabela 5. Estatística descritiva dos dados de precipitação no verão.

As Figuras 11 e 12 apresentam os histogramas referentes às distribuições de frequência para a média e o verão 2013-2014.

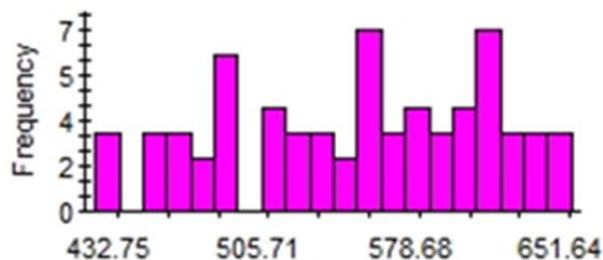
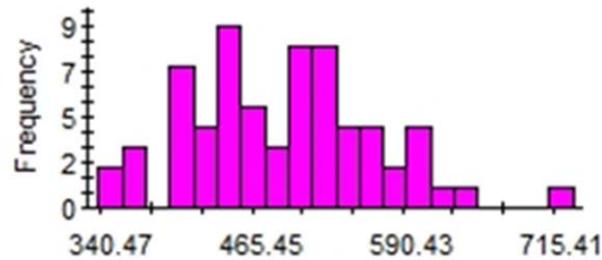


Figura 11. Histograma da precipitação média do período.**Figura 12.** Histograma da precipitação acumulada do verão 2013-14.

Ambas as distribuições são levemente assimétricas. A distribuição da média apresenta uma curtose mais elevada, denotando um achatamento na distribuição. Apesar disso, optou-se por não executar qualquer transformação nos dados, assumindo uma distribuição normal dos dados.

Na tabela 6 são demonstrados os valores obtidos após a geração dos variogramas experimentais e ajuste dos modelos teóricos. Para os dois conjuntos de dados o modelo que melhor se adequou foi o Gaussiano, e o efeito pepita se manteve alto devido a distância entre as amostras. Entretanto o alcance encontrado para a precipitação foi pequeno atingindo o valor máximo de 1,79 km para a média do período

Ano	Modelo	Alcance	Efeito Pepita	Patamar	Coefficiente de Determinação (R ²)
2013 - 2014	Gaussiano	0,89	1320,00	6071,00	0,99
Média	Gaussiano	1,79	490,00	7090,00	0,99

Tabela 6. Parâmetros do variograma para os dados de precipitação no verão.

Nas Figuras 13 e 14 são apresentados os variogramas contendo as informações descritas na Tabela 9. Os dois obtiveram valores altos de R^2 , o que confirma que os modelos teóricos representaram bem a variância do conjunto de dados. O variograma é uma descrição matemática do relacionamento entre a variância dos pares de amostras e a distância entre elas. Se identificada a autocorrelação espacial, esta pode ser usada para melhorar a estimativa para locais não amostrados, através da interpolação por krigagem.

A krigagem ordinária é geralmente associada como B.L.U.E (best linear unbiased estimator). A krigagem ordinária é “linear” porque suas estimativas são combinações lineares ponderadas dos dados disponíveis; é ‘não viciada’ porque busca o valor de erro ou resíduo médio igual a 0; e é ‘melhor’ porque minimiza a variância dos erros.” (ISAAKS; SRIVASTAVA, 1989, p.278)

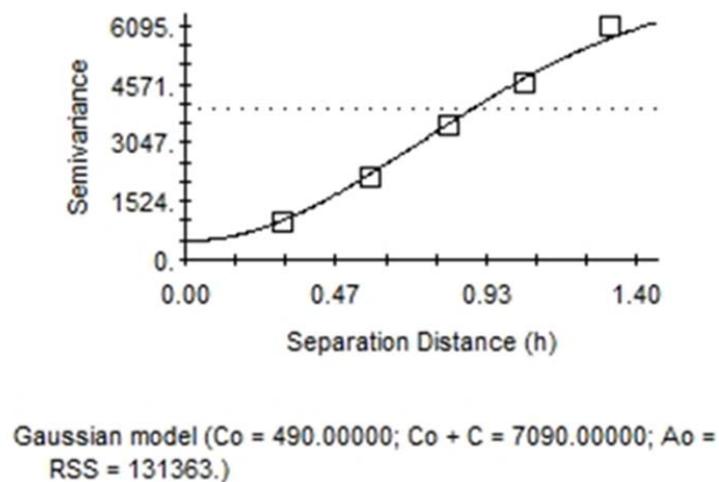
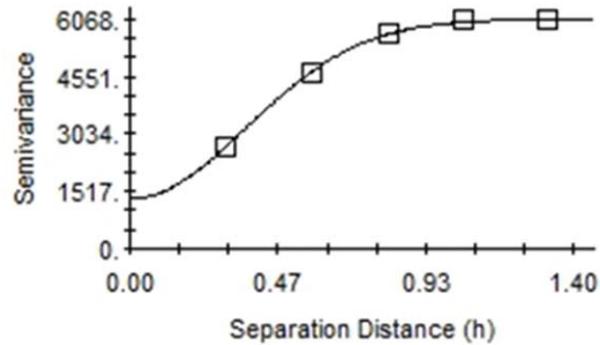


Figura 13. Variograma do dados de precipitação média do período.



Gaussian model ($C_0 = 1320.00000$; $C_0 + C = 6071.00000$; $A_0 =$
 RSS = 6086.)

Figura 14. Variograma do dados de precipitação do verão 2013-14.

Os valores obtidos através da validação cruzada confirmam que os variogramas ajustados representaram bem o conjunto de dados (Figuras 15 e 16). A média do período apresentou boa correlação entre os dados reais e os estimados com $R^2=0,85$. Os dados do verão de 2013-2014 apresentaram um valor inferior com o $R^2=0,71$ possivelmente atribuído a grande variância dos dados.

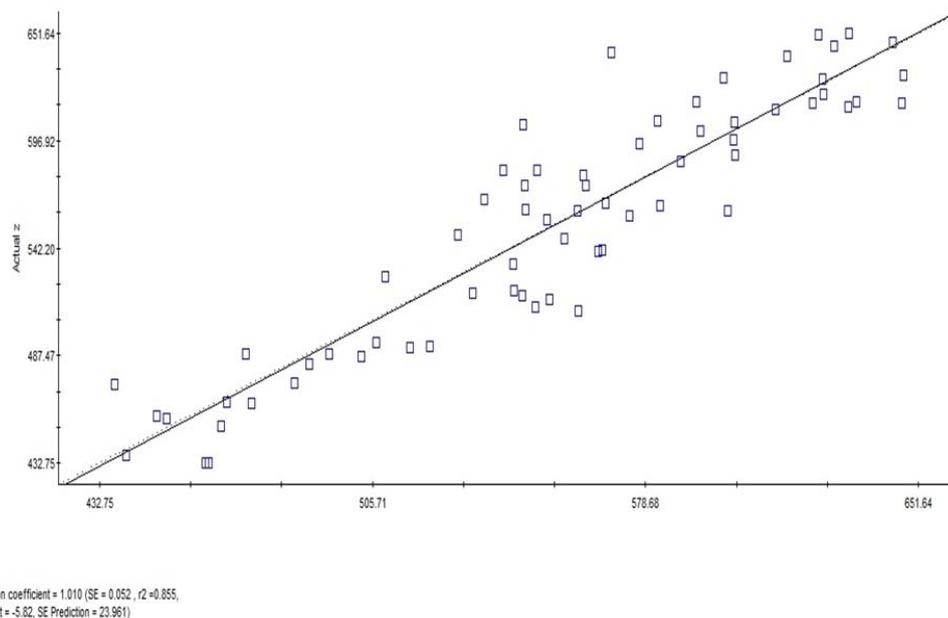


Figura 15. Validação cruzada da Krigagem para a média do período.

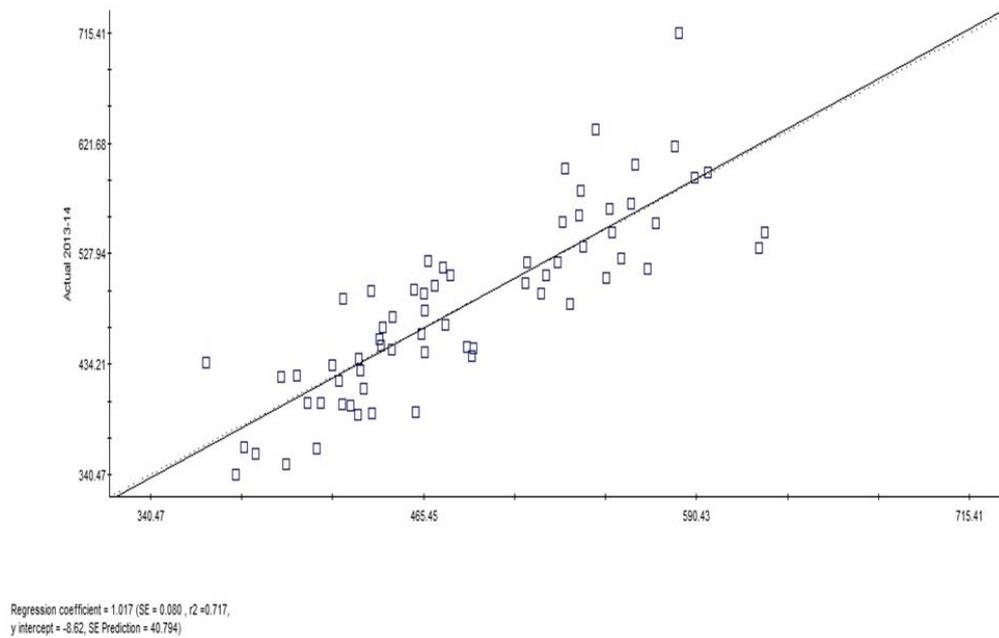


Figura 16. Validação cruzada da Krigagem para o verão 2013-13.

A seguir podem ser observadas as representações visuais da precipitação acumulada no período analisado. É possível identificar a diminuição de precipitação na bacia do Rio Pardo durante a média do decênio 2001-2011 (Figura 16), em comparação com o verão 2013-2014 (Figura 17).

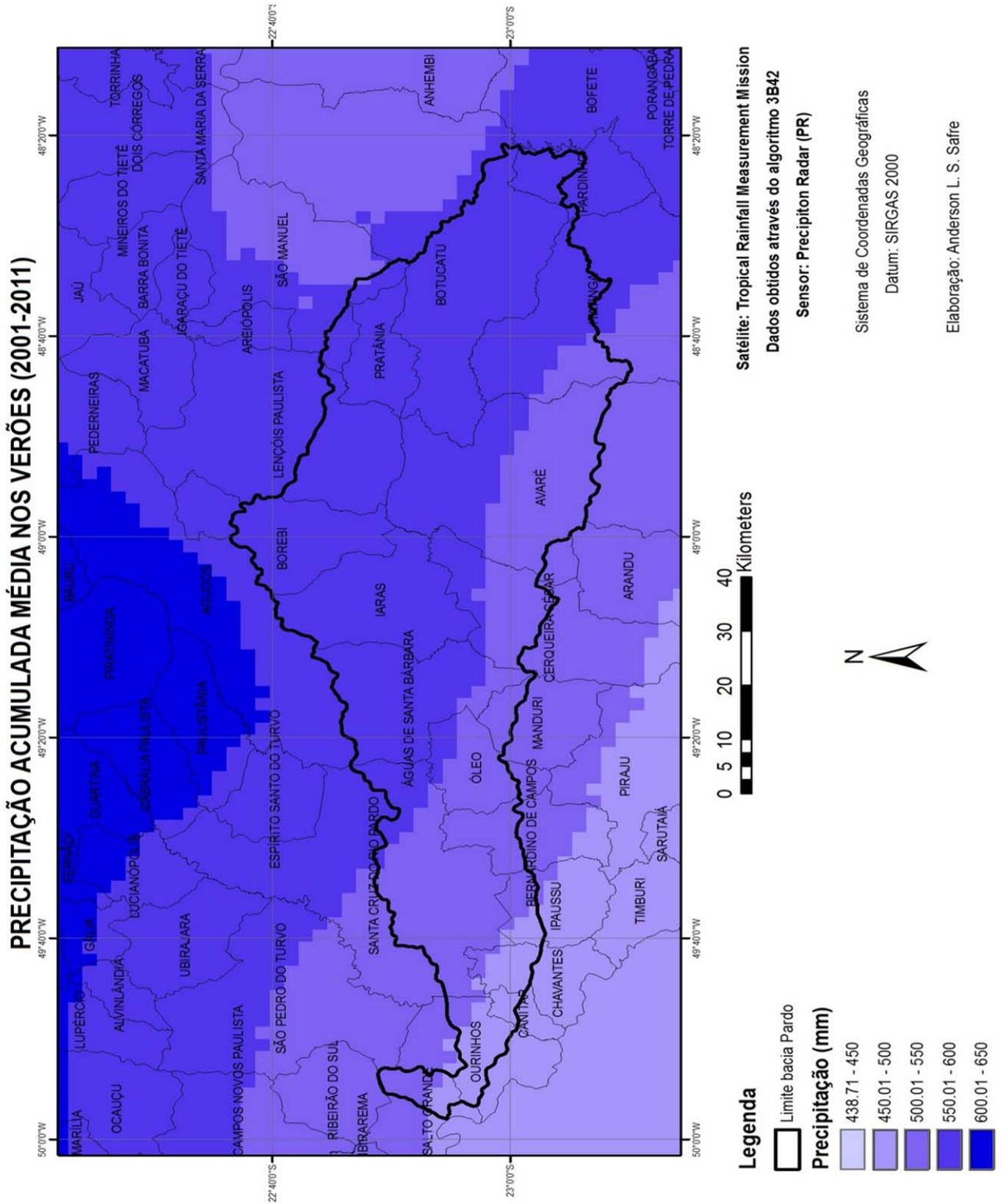


Figura 17. Distribuição espacial da precipitação média do período.

Os maiores valores de precipitação, de acordo com a média, foram encontrados nas bordas ao norte da bacia e no alto Pardo, próximo ao município de Botucatu – SP, que pode ser explicado pelas chuvas orográficas causadas pela barreira natural da serra que provoca ascensão do ar quente e úmido e consequente precipitação sob a cuesta.

Na Figura 17, é possível identificar que o fenômeno de precipitação apresentou variabilidade espacial com volumes próximos a 650 mm a jusante da bacia, na confluência dos Rios Turvo, Pardo, e Paranapanema próximo aos municípios de Ourinhos e Salto Grande. Os menores volumes precipitados foram a montante da bacia nas cabeceiras de drenagem do Rio Novo e Rio Claro, os valores estão entre 400 e 450 mm.

No verão de 2013-2014, entretanto, houve uma modificação desse padrão espacial e os maiores valores de precipitação estão localizados a sudoeste da bacia, próximo ao exutório. Esse fato chama atenção devido à redução da precipitação na cabeira de drenagem, o que diminui a contribuição para a vazão média do rio Pardo.

Pedrozo (2015) encontrou um valor acumulado de precipitação para o verão de 2013-2014 de 380 a 450 mm, na porção central e leste da Bacia hidrográfica do Alto Paranapanema, áreas de nascente do rio Paranapanema. Esse é um fato preocupante, pois demonstra a redução nos níveis de precipitação nas regiões mais críticas da bacia.

Na Figura 18, é possível analisar a porcentagem de volume precipitado no verão de 2013-2013, em relação à média decenal dos verões. Os resultados demonstram que as áreas mais afetadas pela falta de chuva foram às cabeceiras de drenagem, mas especificamente a rede de nascentes dos Rios Pardo, Novo e Claro próximos ao município de Botucatu, Itatinga e Pratânia, respectivamente, com o saldo entre -30 e -20% configurando um déficit no volume de precipitação, em relação aos outros verões.

PRECIPITAÇÃO ACUMULADA NO VERÃO 2013-14

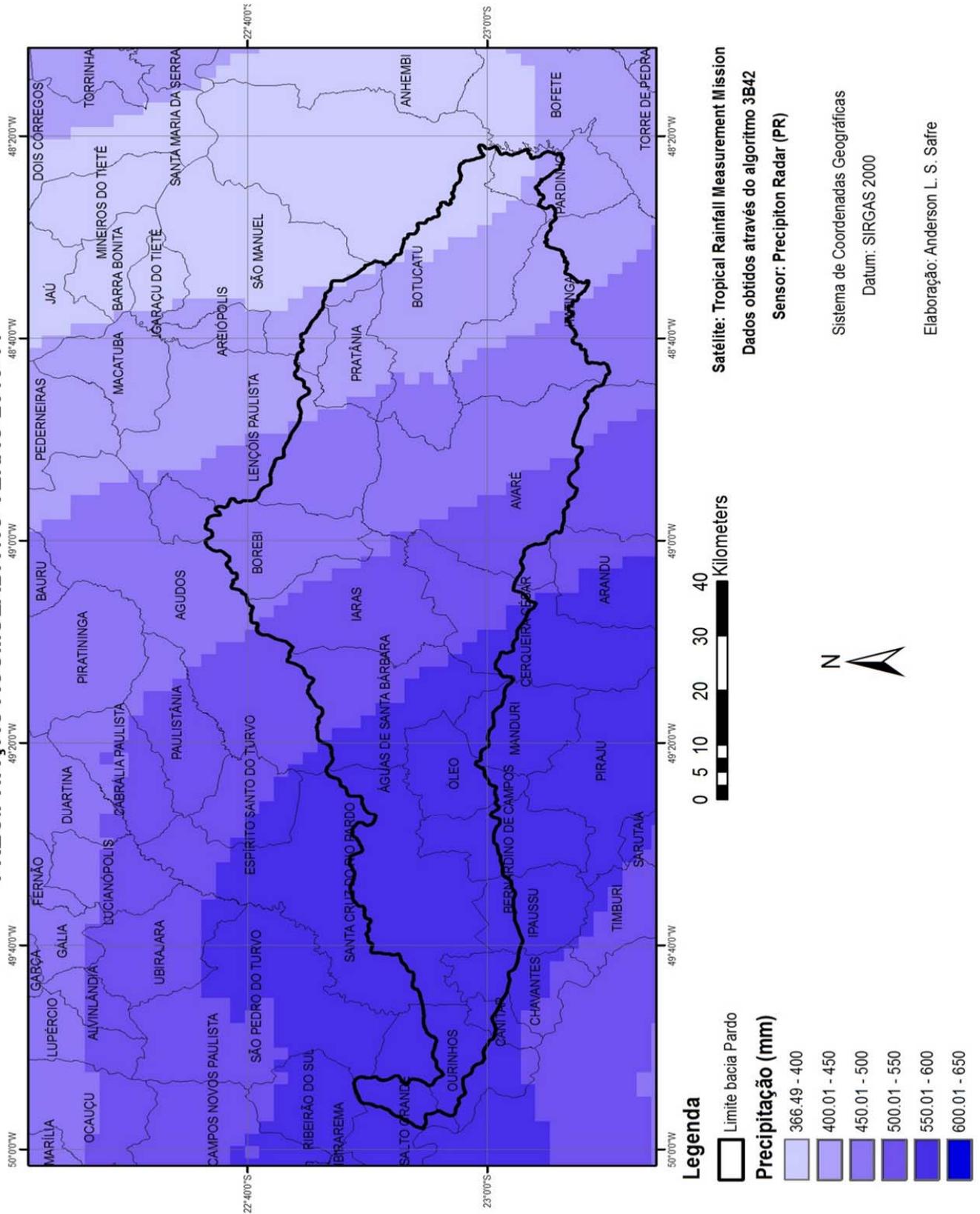


Figura 18. Distribuição espacial da precipitação no verão 2013-2014.

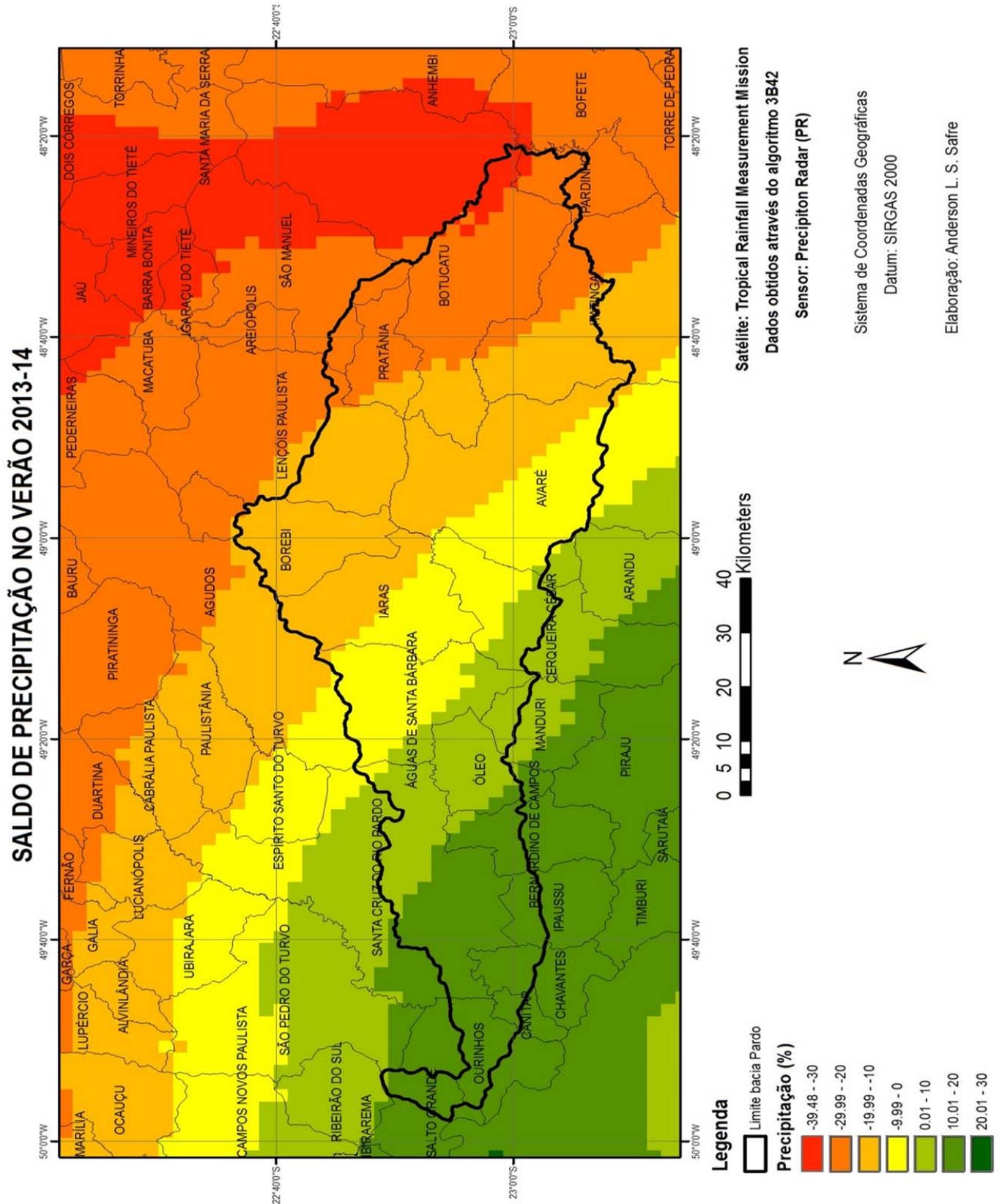


Figura 19. Saldo de precipitação no verão 2013-14.

Vale ressaltar que os municípios que apresentaram déficit no volume precipitado utilizam das águas superficiais do Rio Pardo para abastecimento urbano. Porém, a diminuição na vazão do rio apresentou 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, fazendo com que a água não conseguisse passar pelas canaletas para chegar até as bombas adutoras.

A redução da precipitação na porção leste da bacia chama atenção para o gerenciamento dessas áreas, para que a água precipitada consiga percolar no aquífero. Os diferentes usos de solo, barragens e sistemas de irrigação, alteram a quantidade de evapotranspiração na bacia, levando a uma modificação nos parâmetros do balanço hídrico. Sem um manejo adequado esse fator pode desenvolver um saldo negativo de água no sistema, onde a retirada de água é a maior que a recarga.

7. CONCLUSÕES

A partir das estimativas de precipitação obtidas utilizando os dados do satélite TRMM, foi possível realizar uma análise a respeito do comportamento espacial do fenômeno, e identificar as áreas críticas da bacia, que necessitam de atenção devido à diminuição das taxas de chuva. É notável a grande variabilidade espacial do fenômeno meteorológico da precipitação, que apresentou comportamentos anômalos no verão de 2013-14, caracterizado pela estiagem durante o período chuvoso. Verificou-se a diminuição do volume precipitado no verão 2013-2014 em relação à média decenal do período 2001-2011, principalmente nas cabeceiras dos rios Pardo, Novo e Claro.

A grande variabilidade da disponibilidade hídrica, tanto no tempo como no espaço, demonstra a necessidade da permanente quantificação da precipitação pluvial, por ser a principal entrada de água na bacia hidrográfica.

O uso de técnicas de Geoprocessamento, bem como de produtos oriundos do sensoriamento remoto, auxiliaram de modo significativo à pesquisa, tornando possível a realização de processos de maneira rápida e fácil, permitindo a análise espacial. Além disso, o banco de dados gerado pode servir aos órgãos gestores como forma de indicar as áreas prioritárias para monitoramento.

Através da metodologia abordada foi possível constatar a grande dependência espacial do conjunto de dados analisados. O ano de 2013 apresentou um valor de desvio padrão da ordem de 133,69, o que é atribuído à amplitude dos dados estando diretamente relacionada com a variação espacial da chuva. A variabilidade dos dados do verão de 2013-14 apresentou um menor alcance: 0,89 km, e um maior valor de variância: 76,71; se comparado com a média.

Através da interpolação por krigagem, foi possível estimar com precisão os valores para as áreas não amostradas, devido aos ajustes dos modelos teóricos em relação aos semivariogramas que foram eficientes segundo a validação cruzada, que para o ano de 2013 o R^2 foi de 0.82, e no verão de 2013-14 foi de 0.71.

Para complementar de forma significativa o estudo, faz-se necessário uma análise complementar de outros parâmetros, de modo a identificar correlações nas variáveis. A quantificação de variáveis em campo também é imprescindível para complementar o banco de dados, e estimar com precisão os valores dos fenômenos observados.

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, 2003, 166p.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 8ª ed. - Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992, 332 p.

Barrera, D. F. Precipitation estimation with the hydro-estimator technique: its validation against raingage observations. In: Congresso da IAHS, 7, 2005. Foz do Iguaçu. **Anais...Foz do Iguaçu: IAHS, CD-ROM, 2005.**

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: residencia da Republica, 1997.

BURROUGH, P. A., McDONNELL, R. A.. **Principles of geographical information systems**. Oxford: University Press, 2004.

CAMARGO, E.C.G. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: Câmara, G.; Medeiros, J.S, (org.). **Geoprocessamento para projetos ambientais**. 2ª edição – Revisada e Ampliada. São Jose dos Campos, SP. p. 01-36, 1998.

CARVALHO, T.M. Variabilidade especial de propriedades físico-hídricas de um Latossolo Vermelho-Amarelo através da Geoestatística. (Tese de Mestrado). Escola Superior de Agricultura de Lavras, 1991. 84p.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2006c). **Inventário das áreas contaminadas do Estado de São Paulo – 2006**.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (2014). **Relatório de qualidade das águas interiores do Estado de São Paulo – 2014**.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. Ed. Edgard Blucher Ltda e EDUSP. 149 p.1974.

COMITE DAS BACIAS HIDROGRAFICAS DO MEDIO PARANAPANEMA. **Plano de Bacia da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI-17)**. Sao Paulo: CBH-MP, 2007.

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, B. **Uso de precipitação estimada pelo satélite TRMM em modelo hidrológico distribuído**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2006.

CORDEIRO, J.P.; Barbosa, C.C.F.; Câmara, G. Álgebra de mapas. In: CAMARA, G. et al (org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos. Cap 8, p. 01-26, 2001.

CPTI – COOPERATIVA DE SERVIÇOS E PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS (1999) **Primeiro Relatório de Situação dos Recursos Hídricos da UGRHI-17 (“Relatório Zero”)**. CIERGA, Assis, 1999.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Regionalização hidrológica do Estado de São Paulo**. Rev. Águas En. El., n.14, p.4-10, 1988.

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica. **Manual de cálculo das vazões máximas, médias e mínimas nas bacias hidrográficas do Estado de São Paulo**. DAEE, São Paulo. 64p, 1994.

DAEE - DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA **Banco de dados de outorgas – captações superficiais (CA) e subterrâneas (PO); pontos de lançamento (LA) – UGRHI-17**, 2006.

DELATORRE, C. C. M., PIROLI, E. L. **Análise de técnicas de geoprocessamento e produtos orbitais como subsídio à análise da cobertura florestal nas APPs do alto curso do rio Pardo**. Relatório de Pesquisa, CNPq (PIBIC), 2012.

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.

GIAMPÁ, C. E. Q.; GONÇALEZ, V. G. **Águas subterrâneas e poços tubulares profundos**. 2. ed. São Paulo: Oficina dos textos, 2013. 496p.

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

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Clima do Brasil**. Rio de Janeiro, 2002.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de clima do Brasil**. Rio de Janeiro, 2002.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SAO PAULO (IPT). **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo: 1:1.000.000**. Sao Paulo: IPT, vol. II, 1981.

IPCC: Climate Change 2001: **The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 881pp. 2001.

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: EIPHANIO, J.C.N. (coordenador)...[et al.]. São José dos Campos: Parentese, 2009.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes.. Wall-map 150cmx200cm, 1928.

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

LIAO, L.; MENEGUINI, R. Validation of TRMM Precipitation Radar through comparison of its multiyear measurements with ground-based radar. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.48, p.804-817, 2009.

LIMA, W. P.; **Análise física da bacia hidrográfica: Introdução ao manejo de bacias hidrográficas**. Piracicaba:ESALQ, p.49-66, 1996

LONGLEY P A, GOODCHILD M F, MAGUIRE D J, RHIND D W. **Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications (Abridged edition)**. Hoboken, NJ: Wiley, 2012.

LUPA – **Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícola**. SAA/IEA/CATI, 4v, 1997.

MATHERON, G. Principles of geostatistics. **Economic Geology**. El Paso, V. 58, p. 11246-66, 1963.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G. **Plano de manejo da Estação Ecológica de Santa Bárbara (Resumo Executivo)**. São Paulo: Instituto Florestal, 25p. 2009.

MENDONÇA, F; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007

MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas** – 2. ed. rev. atual. – Brasília, DF : Embrapa Informação Tecnológica, 425 p. 2010.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. Viçosa: UFV, 2003, 2.ed.

NERY, J.T.; SILVA, E. S.; MARTINS, M.L.O.F. Estudo da variabilidade pluviométrica do Estado do Paraná. **Revista UNIMAR**. 16(3): p. 505-24, 1994.

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.

NÓBREGA, S.N. **Modelagem de impactos do desmatamento nos recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Jamari (RO) utilizando dados de superfície e TRMM**. 186f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Universidade Federal de Campinas Grande – UFCG. Campinas Grande, PB, 2008.

NÓBREGA, R.S.; SANTOS NETO, L. A. Comparação entre dados de precipitação do CPC e estimados pelo TRMM - Primeira Parte. In: **XV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, São Paulo. A meteorologia e as Cidades, 2008.

NÓBREGA, R.S ; SANTOS NETO, L. A. Comparação entre dados de precipitação do CPC e estimados pelo TRMM - Segunda Parte: Comparando com dados de estações. In: **XV Congresso Brasileiro de Meteorologia**, São Paulo. A meteorologia e as Cidades, 2008.

NÓBREGA, R.S.; SOUZA, E.P.; SOUSA, F.A. Análise da utilização de dados do satélite TRMM em um modelo hidrológico semidistribuído na bacia do rio Jamari (RO). **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 1, n. 1, pág. 47-61, 2008.

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

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

OLIVEIRA, J. B., CAMARGO, M. N., ROSSI, M., CALDERANO FILHO, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo: legenda expandida**. Campinas: Instituto Agronomico/EMBRAPA Solos, 1999.

PAIVA, E.M.C.D. Rede de monitoramento hidrológico. In: PAIVA, J.B.D.; PAIVA, E.M.C. D. (Org.). **Hidrologia Aplicada à Gestão de Pequenas Bacias Hidrográficas**. ABRH: Porto Alegre. 625 p., 2003.

PASSERAT DE SILANS, A.M.B., ALMEIDA, C. das N., ALBUQUERQUE, D.J.S. DE PAIVA, A.E.D.B. Aplicação do modelo hidrológico distribuído AÇUMOD à bacia hidrográfica do rio do Peixe-Estado da Paraíba. **Rev. Bras. Rec. Hídricos**, v.5, n.3, p.5-19, 2000.

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.

PIROLI, E. L. Sensoriamento remoto aplicado à atualização da cartografia e ao estudo dos recursos naturais nas áreas de preservação permanente dos cursos d'água da bacia hidrográfica do alto rio Pardo, São Paulo, Brasil. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, XIX, 2011, Maceió. **Anais...** Porto Alegre: ABRH, p. 1 – 14. 2011.

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**. 2013. 150 f. Tese (Livre Docência em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento), Universidade Estadual Paulista, Ourinhos, 2013.

ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora, MG: 3ªedição, 220p. 2007.

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

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

ROSS, J. L. S., MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. Sao Paulo: DGFFLCH-USP, IPT, FAPESP, 1997.

SALVIANO, A.A.C. **Variabilidade de atributos de solo e de *Crotalaria juncea* em solo degradado do município de Piracicaba-SP**. Piracicaba, 1996. 91p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1996.

SANTOS, M. J. Z. Mudanças climáticas e o planejamento agrícola. In: SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (Organizadores). **Variabilidade e mudanças climáticas: implicações ambientais e socioeconômicas**. EDUEM, Maringá, pp. 65-80, 2000.

SANTOS, I. ; FILL, H.D.A. ; SUGAI, M.R.B. ; BUBA, H. ; KISHI, R.T. ; MARONE, E. ; LAUTERT, L.F.C. **Hidrometria Aplicada**. Curitiba: LACTEC, v. 1. 372 p. 2001.

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.P. **Variabilidade espacial de atributos físicos do solo**. Piracicaba, 1998. 105p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. Piracicaba, 1998.

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, D.F.; Rocha, J. V. Interpolação dos dados observados de precipitação pluvial e comparados com dados estimados pelo satélite TRMM. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Foz do Iguaçu. **Anais...**São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p 4086-4092. CD-ROM, On-line. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1275.pdf>>. Acesso em: 05 de set. 2015.

SMITH, E. A.; Results of WetNet PIP-2. **J. Atmos. Sci.**, 55, 1483–1536. 1998.

STHALER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Trans. American Geophysical Union**, 38: 913-920. 1957

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade, ABRH: EDUSP, 1993. 943 p. (Coleção ABRH de Recursos hídricos, 4).

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

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. Editora RIMA e Instituto Internacional de Ecologia, São Carlos, SP, 2003. 248pp.

VILLELA, S.M.; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 245p.

XAVIER DA SILVA, J. . **Geoprocessamento para análise ambiental**. 1. ed. Rio de Janeiro: D5 Produção Gráfica, 2001. v. 1. 228 p.

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