

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**BALANÇO HIDRICO E RECARGA DO SISTEMA AQUIFERO BAURU (SAB)
COM DADOS DE DIFERENTES RESOLUÇÕES ESPACIAIS EM AGUAS DE
SANTA BARBARA - SP**

THIAGO RAMIRES

BOTUCATU - SP

Março – 2017

THIAGO RAMIRES

**BALANÇO HIDRICO E RECARGA DO SISTEMA AQUIFERO BAURU (SAB)
COM DADOS DE DIFERENTES RESOLUÇÕES ESPACIAIS EM AGUAS DE
SANTA BARBARA - SP**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu
para obtenção do título de mestre em Agronomia
(Irrigação e Drenagem)

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione

BOTUCATU - SP

Março - 2017

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

- R173b Ramires, Thiago, 1989-
Balanço hídrico e recarga do sistema aquífero Bauru (SAB) com dados de diferentes resoluções espaciais em águas de Santa Barbara - SP/ Thiago Ramires. - Botucatu:[s.n.] , 2017
70 p. : il., color., grafs., tabs.
- Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2017
Orientador: Rodrigo Lilla Manzione
Inclui bibliografia
1. Balanço hidrológico. 2. Águas subterrâneas. 3. Unidades de conservação. 4. Sistemas de informação geográfica. 5. Cerrado. I. Manzione, Rodrigo Lilla. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: BALANÇO HÍDRICO E RECARGA DO SISTEMA AQUÍFERO BAURU (SAB) COM DADOS EM DIFERENTES RESOLUÇÕES ESPACIAIS EM ÁGUAS DE SANTA BÁRBARA-SP

AUTOR: THIAGO RAMIRES

ORIENTADOR: RODRIGO LILLA MANZIONE

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



Prof. Dr. RODRIGO LILLA MANZIONE
Depto de Coordenadoria de Curso / UNESP - Câmpus de Ourinhos



Profa. Dra. CÉLIA REGINA LOPES ZIMBACK
Depto de Solos e Recursos Ambientais / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu



Profa. Dra. DANIELA FERNANDA DA SILVA FUZZO
Depto de Coordenadoria de Curso de Geografia / UNESP - Campus de Ourinhos

Botucatu, 20 de janeiro de 2017.

AGRADECIMENTOS

Agradeço

À minha família pelo incentivo e por acreditar no meu trabalho.

À minha namorada Fernanda pela compreensão e carinho.

Ao professor Rodrigo Lilla Manzione pela oportunidade confiança.

Aos colegas que contribuíram diretamente para efetivação da proposta, Vitor Fidelis Monteiro Gonçalves, Lucas Vituri Santarosa, Anderson Safre, Vinicius Machado Martinez.

À Unesp pela estrutura e suporte fornecido.

Aos colegas e professores do Laboratório de Hidrologia e Hidrogeologia Operacional (LabH2O) do Campus de Ourinhos da UNESP e do GEPAG (Grupo de Estudos e Pesquisas Agrárias Georreferenciadas) do Departamento de Solos da FCA/UNESP.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pelo financiamento concedido que viabilizou esta pesquisa.

RESUMO

O balanço hídrico agrometeorológico é uma importante ferramenta no processo de tomada de decisão quanto ao uso da água e na avaliação da capacidade suporte das terras quanto à disponibilidade e demanda hídrica em sistemas agrícolas e florestais. O monitoramento das águas subterrâneas em regiões vulneráveis é de interesse estratégico, para entender a relação entre recursos hídricos superficiais e subterrâneos, e demandas em áreas de recarga de aquíferos, se faz necessário para que sejam equilibrados os interesses ecológicos e econômicos das atividades desenvolvidas nessas áreas. A recarga e descarga das águas subterrâneas que ocorre nessas áreas tem a função de abastecer corpos d'água em períodos mais secos, transferir e transportar águas entre regiões, reabastecer o aquífero em áreas de exploração por poços profundos e fornecer um estoque hídrico para manutenção de ecossistemas e da agricultura em períodos de estiagem, entre tantas funções dos aquíferos. Para entender as relações entre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos, e sua dinâmica em função das variações do clima, é necessário o estudo em bacias hidrográficas representativas para fornecer informações e suporte ao planejamento do uso, ocupação e exploração do território. Este trabalho realizou o balanço hídrico agrometeorológico em uma bacia hidrográfica em área de recarga do Sistema Aquífero Bauru a partir de dados de monitoramento e uso de geotecnologias. Foram integrados em um modelo dados obtidos por satélites de sensoriamento remoto, dados de radar meteorológico, estações climatológicas de superfícies, monitoramento hidrológico sistemático e classificação do uso e cobertura da terra em sistemas de informações geográficas. O ambiente SIG mostrou-se eficiente para a análise espacial dos dados de balanço hídrico, os resultados mostraram que houve uma significativa recarga local das águas subterrâneas sendo a recarga estimada de 20,43% (Estação Climatológica Automática), 23,67% (Equação Z-R Calheiros) e 35,54% (Satélite TRMM) da precipitação.

PALAVRAS-CHAVE: agrometeorologia, águas subterrâneas, unidade de conservação, cerrado.

ABSTRACT

The agrometeorologic water balance is an important tool in decision-making process about water using and in the evaluation of land support capacity about water demand and availableness in forestry and agricultural systems. The groundwater monitoring in vulnerable regions has strategic interest, for understanding the relationship between surface and groundwater and aquifer recharge areas, it become necessary for the balance of ecologic and economic interests of activities developed in these areas. The groundwater recharge and discharge, which occurs in these areas, has the function of providing water for streams in dry periods, transfer and transport water between regions, recharge the aquifer in exploration areas by deep wells and provide water storage for ecosystem and agriculture maintenance in period of drought, among other aquifer functions. In order to understand the relationship between surface and groundwater and its dynamic related to climate change, it is necessary the study in representative watersheds to provide information and support of use, occupation and territory exploration planning. This work carried out the agrometeorological water balance in a watershed in a recharge area of the Bauru Aquifer System based from monitoring geotechnology use. Data from remote sensing satellites, meteorological radar data, surface climatological stations, systematic hydrological monitoring and classification of land use and coverage in geographic information systems were integrated into a model. The GIS environment proved to be efficient for the spatial analysis of the water balance data, the results showed that there was a significant local recharge of the groundwater, with an estimated recharge of 20.43% (Automatic Weather Station), 23.67% (Equation ZR Calheiros) and 35.54% (Satellite TRMM) precipitation.

KEY-WORDS: agrometeorology, groundwater, unit of conservation, cerrado

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Princípio de funcionamento de um radar meteorológico.....	10
Figura 2 – Elevação do feixe do radar meteorológico de Bauru em função da distância.....	11
Figura 3 – Ilustração de PPIs utilizados para produzir um CAPPI.....	12
Figura 4 – Satélite TRMM (esquerda), órbita do satélite TRMM (direita).....	13
Figura 5 – Principais aquíferos do Estado de São Paulo.....	19
Figura 6 – Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos 17 (UGRHI-17).....	20
Figura 7 – Mapa base da Região da Estação Ecológica de Santa Bárbara.....	23
Figura 8 – Rede de radares Doppler do IPMet (BRU = Bauru; PPR = President Prudente), mostrando os anéis de 240km, e 450km.....	26
Figura 9 – Ilustração de Intercepção da precipitação da vegetação.....	29
Figura 10 – Modelo de Regressão Linear obtida pelo Método dos Mínimos Quadrados.....	37
Figura 11 – Funções de distribuição de probabilidades (ECDF) para os conjuntos analizados.....	38
Figura 12 – Modelo de Regressão Linear obtida pelo Método dos Mínimos Quadrados.....	41
Figura 13 – Funções de distribuição de probabilidades (ECDF) para os conjuntos analizados.....	42
Figura 14 – Modelo de Regressão Linear obtida pelo Método dos Mínimos Quadrados.....	45
Figura 15 – Funções de distribuição de probabilidades (ECDF) para os conjuntos analizados.....	46
Figura 16 – Modelo de Regressão Linear obtida pelo Método dos Mínimos Quadrados.....	48
Figura 17 – Funções de distribuição de probabilidades (ECDF) para os conjuntos analizados.....	49
Figura 18 – Mapa de precipitação de Radar (Calheiros) na EEcoSB.....	51
Figura 19 – Mapa de precipitação de Radar (Rosenfeld) na EEcoSB.....	52

Figura 20 – Mapa de Escoamento Superficial da precipitação (Calheiros) na EEcoSB.....	53
Figura 21 – Mapa de Escoamento Superficial da precipitação (Rosenfeld) na EEcoSB.....	54
Figura 22 – Mapa de Interceptação da precipitação (Calheiros) na EEcoSB.....	55
Figura 23 – Mapa de Interceptação da precipitação (Rosenfeld) na EEcoSB.....	55
Figura 24 – Mapa de Interceptação da precipitação (EMA) na EEcoSB.....	56
Figura 25 – Mapa de Interceptação da precipitação (TRMM) na EEcoSB.....	56
Figura 26 – Mapa de Balanço Hídrico (EMA) na EEcoSB.....	57
Figura 27 – Mapa de Balanço Hídrico (Calheiros) na EEcoSB.....	58
Figura 28 – Mapa de Balanço Hídrico (Rosenfeld) na EEcoSB.....	58
Figura 29 – Mapa de Balanço Hídrico (TRMM) na EEcoSB.....	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Frequência de microondas utilizada pelo Radar.....	10
Tabela 2. Parâmetros estatísticos calculados para a precipitação registrada para o período em análise.....	36
Tabela 3. Parâmetros estatísticos calculados para a precipitação registrada para o período em análise.....	40
Tabela 4. Parâmetros estatísticos calculados para a precipitação registrada para o período em análise.....	44
Tabela 5. Parâmetros estatísticos calculados para a evapotranspiração registrada para o período em análise.....	47
Tabela 6. Valores de Precipitação.....	52
Tabela 7. Valores de Balanço Hídrico na EECsB no ano hidrológico 2014–2015.....	60
Tabela 8. Valores de recarga/precipitação na EECsB no ano hidrológico 2014-2015 (%).....	60
Tabela 9. Valores para precipitação e recarga calculados para a EECsB no ano agrometeorológico de 2014-2015.....	61

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISAO DE LITERATURA.....	13
2.1 Balanço Hídrico Geoespacial.....	13
2.2 Fontes de dados para os principais componentes do balanço hídrico.....	14
2.2.1 Precipitação.....	14
2.2.2 Evapotranspiração.....	20
2.2.3 Intercepção.....	23
2.2.4 Armazenamento Subterrâneo.....	22
2.2.5 Escoamento superficial.....	23
2.3 Geotecnologias aplicadas ao monitoramento agrometeorológico.....	24
2.4 O Sistema Aquífero Bauru.....	25
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 Área de estudo.....	29
3.2 Estimativa da recarga.....	30
3.3 Processamento e Dados utilizados.....	31
3.2.1 Precipitação.....	31
3.2.2 Evapotranspiração.....	34
3.3 Análise dos dados.....	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
4.1 Análises de correlação dos diferentes dados de entrada de precipitação.....	38
4.1.1 Estações climatológicas de superfície e dados TRMM.....	38
4.1.2 Estações climatológicas de superfície e dados do Radar meteorológico (Calheiros).....	42
4.1.3 Estações climatológicas de superfície e dados do Radar meteorológico (Rosenfeld).....	46
4.2 Análises de correlação dos diferentes dados de entrada de evapotranspiração.....	50
4.3 Mapeamento dos componentes do balanço hídrico meteorológico.....	53
4.4 Estimativas do resíduo do balanço hídrico na EEcoSB no ano hidrológico 2014- 2015.....	59
5. CONCLUSÕES.....	64
REFERENCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos mais importantes da Terra, e tem um papel fundamental para a manutenção da vida no planeta. As águas subterrâneas representam 97% da água doce disponível na Terra (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000). Por não ser visível, a maioria das pessoas pensam, que em sua maioria, a água vem dos rios, lagos, barragens, e, por esse motivo, desconhecem a real importância das águas subterrâneas. O Brasil possui um grande potencial hídrico, para que haja o uso e manejo da água de forma eficiente, se torna necessário que ocorra um planejamento adequado sobre a sua disponibilidade. As águas subterrâneas estão sendo amplamente utilizadas para suprir a demanda urbana de várias cidades. O recurso é utilizado em várias áreas de forma contínua e cada vez mais ocorre o aumento do consumo, pressionando os corpos d'água. Este panorama mostra a importância de se conhecer a disponibilidade de água para o planejamento, gerenciamento de diversas atividades dependentes das águas e gestão dos recursos hídricos.

A crise hídrica que ocorreu no Estado de São Paulo, no período de 2013 a 2015, foi fator importante para impulsionar as discussões e reflexões sobre o tema água, visto que se percebeu na prática a necessidade de melhorar a gestão dos recursos hídricos em diferentes níveis. A solução pontual encontrada para tal problema foi a utilização de águas subterrâneas. Da mesma forma que o Estado de São Paulo, outras regiões sofrem com problemas pontuais ou crônicos relacionados aos recursos hídricos e demandam soluções de gestão eficiente. Esta crise, aliada a crise crônica que sofre o nordeste brasileiro, lança um panorama de preocupação aos diversos setores econômicos que dependem do recurso para suas atividades.

Estimar a recarga das águas subterrâneas com precisão é um fator determinante para as tomadas de decisões e manejo adequado dos aquíferos, principalmente ao que tange o seu potencial de consumo ou de contaminação. O uso de cada área e sua necessidade hídrica, vai determinar o grau de interferência nas águas subterrâneas. As áreas de afloramentos, por exemplo, que possuem grandes taxas de recargas, são aquelas que também estão mais suscetíveis a contaminação. A recarga ainda nos possibilita traçar pontos que devam ser preservados para que mantenha o suprimento de águas subterrâneas e ajuda a entender como se dá a dinâmica do aquífero, quanto dessa

água é repostada, em que tempo, possibilitando uma gestão mais sustentável, que equilibre oferta e demanda. Informações agrometeorológicas fornecem subsídios importantes para o planejamento agrícola e tomada de decisões. Quando associadas a dados de monitoramento do nível de água no solo, essas informações podem integrar componentes essenciais do ciclo hidrológico, que quando modeladas com precisão e em tempo suficiente para tomada de decisão, podem fazer a diferença entre falha e sucesso e de sistema agrícolas e florestais. A utilização de geotecnologias como sensoriamento remoto e geoprocessamento aparece como uma opção que amplia a capacidade análise de dados, pois permite analisar áreas maiores, com acurácia e minúcia.

Os objetivos gerais foram: caracterizar o comportamento dos recursos hídricos disponíveis em áreas prioritárias a preservação; entender os mecanismos de recarga em aquíferos livres afetados principalmente pela sazonalidade do regime pluviométrico; e criar um banco de dados das características dos recursos hídricos na EECB. Os objetivos específicos foram; levantar informações sobre aspectos que influenciam na quantidade da água no local estudado a partir de dados de superfície de estações climatológicas, e produtos de sensoriamento remoto como radares e satélites meteorológicos; aplicar um modelo agrometeorológico baseado em balanço hídrico para compreensão dos processos que ocorrem durante o ciclo hidrológico e interferem na disponibilidade dos recursos superficiais e subterrâneos; estimar o volume de água em excesso ou déficit na área no período analisado; e comparar os tipos de dados de entrada do modelo agrometeorológico na qualidade final dos resultados.

Este trabalho propõe a partir do uso de geotecnologias e de dados de monitoramento agrometeorológico e hidrogeológico, estimar a recarga das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Bauru (SAB) na área da Estação Ecológica de Santa Barbara (EECB) para o ano hidrológico de setembro de 2014 a agosto de 2015. O estudo utiliza dados espacializados em diferentes resoluções espaciais sobre as componentes do ciclo hidrológico consideradas no balanço hídrico, tais como precipitação, evapotranspiração, interceptação, escoamento superficial e variação do armazenamento subterrâneo, e propõe o cálculo da recarga como um resíduo entre as entradas e saídas do sistema.

2 REVISAO DE LITERATURA

2.1 Balanço Hídrico Geoespacial

O balanço hídrico é um método de estudos climáticos para o cálculo da água existente no solo, disponível para as plantas, nas diferentes épocas do ano, levando em consideração que o solo apresenta uma capacidade máxima de armazenamento de água disponível, e que o valor desse armazenamento depende da entrada e da saída de água no solo (TUBELIS, 2001). É uma importante ferramenta para a verificação de aptidão climática na agricultura. Ele pode ser considerado o item principal na investigação da super exploração de um aquífero e a base para a determinação das áreas de controle e do uso da água subterrânea (IRITANI; EZAKI, 2012). Diversos métodos podem ser adotados para a aferição do balanço hídrico, a determinação do método depende dos objetivos pretendidos e das séries de dados disponíveis. Neste caso, o objetivo com o balanço hídrico, é identificar o comportamento de uma área de afloramento do SAB, e como a vegetação e o uso da terra podem interferir nesse processo. A entrada da água é representada pela Precipitação pluvial e a saída pela Evapotranspiração, Interceptação da precipitação, Escoamento Superficial e Variação do armazenamento subterrâneo.

Entre os métodos utilizados, o balanço hídrico climático proposto por Thornthwaite (1948) admitiu que as culturas, quando cobrem totalmente a superfície do solo e enquanto existe água disponível no solo, evapotranspiram na razão da evapotranspiração potencial. Quando se esgota a água disponível no solo, a evapotranspiração faz-se em uma taxa menor, chamada evapotranspiração real (TUBELIS, 2001).

Modelos numéricos têm sido aplicados à descrição de fenômenos naturais por se tratarem de abstrações da realidade encontrada, uma tentativa de representação de uma ou todas as propriedades de um fenômeno, sistema ou objeto, que tem com propósito compreender melhor a resposta de processos a partir de observações realizadas, ou mesmo deduzir efeitos (TUCCI, 1998).

À medida que o conhecimento sobre um processo se expande, a complexidade dos modelos tende a aumentar (TUCCI, 2007). O monitoramento dos aquíferos é instrumento da Política Nacional dos Recursos Hídricos definido pela lei, a Lei nº 9.433 de 1997, para apoiar os planos de recursos hídricos, para os diferentes usos da água e o seu enquadramento em classes. O monitoramento deve incluir; planejamento, execução, interpretação, avaliação dos resultados e da eficiência do programa.

2.2 Fontes de dados para os principais componentes do balanço hídrico

2.2.1 Precipitação

A precipitação é um conjunto de partículas de constituição hídrica, no estado líquido ou sólido, em suspensão ou queda livre na atmosfera (VAREJÃO-SILVA, 2006). As chuvas têm influência direta nas atividades humanas, seja no abastecimento de reservatórios, para geração de energia, consumo urbano, ou no planejamento agrícola.

A precipitação constitui-se em um dos dados de entrada do Balanço Hídrico, sendo toda água que atinge a superfície terrestre proveniente da atmosfera, representando o elo entre os fenômenos meteorológicos (BARRETO, 2005). Os dados podem ser medidos pontualmente em estações climatológicas, pluviógrafos e pluviômetros, ou espacializados a partir de sensoriamento remoto, como Radares e Satélites. Para áreas que possuem poucas estações a espacialização pode ser feita em função da área de influência utilizando polígonos de Thiessen. Estimativa por Radares de superfície possuem alcance espacial alta (750 m x 750 m) e alta resolução temporal (7,5 min) além de um raio de cobertura de 240 km.

Satélite possuem alta resolução espacial (2,5 km x 2,5 km) mas baixa resolução temporal (3h) prejudicando eventos. Durante a fase de teste dos sensores e do algoritmo, Nicholson et al. (2003) validou os dados de TRMM com uma densa rede de estações no oeste africano, encontrando para o ano de 1998 de correlação de 0,92. Quantitativamente encontraram erros entre 20 e 40%, concluindo que o sensor responde corretamente a variação da precipitação, mas interpreta incorretamente os valores quantitativos (NOBREGA *et al*, 2008).

As medições de chuva feita por pluviômetro possuem baixa representatividade espacial e a ação do vento pode causar alteração da coleta de gotas pelo pluviômetro (CALVETTI, 2006). Para se obter uma precisão utilizando os dados de pluviômetros é necessária uma extensa rede integrada. Sendo os dados de Radar e Satélite um complemento espacial para locais que possuem essa rede de pluviômetros e alternativa viável para áreas com déficit de estações pluviométricas.

A Estação Climatológica Automática (ECA) de superfície possui sensores que coletam parâmetros climatológicos (temperatura, umidade relativa do ar, pressão atmosférica, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc). Esses valores são integralizados a cada hora e armazenados em seu *data logger*,

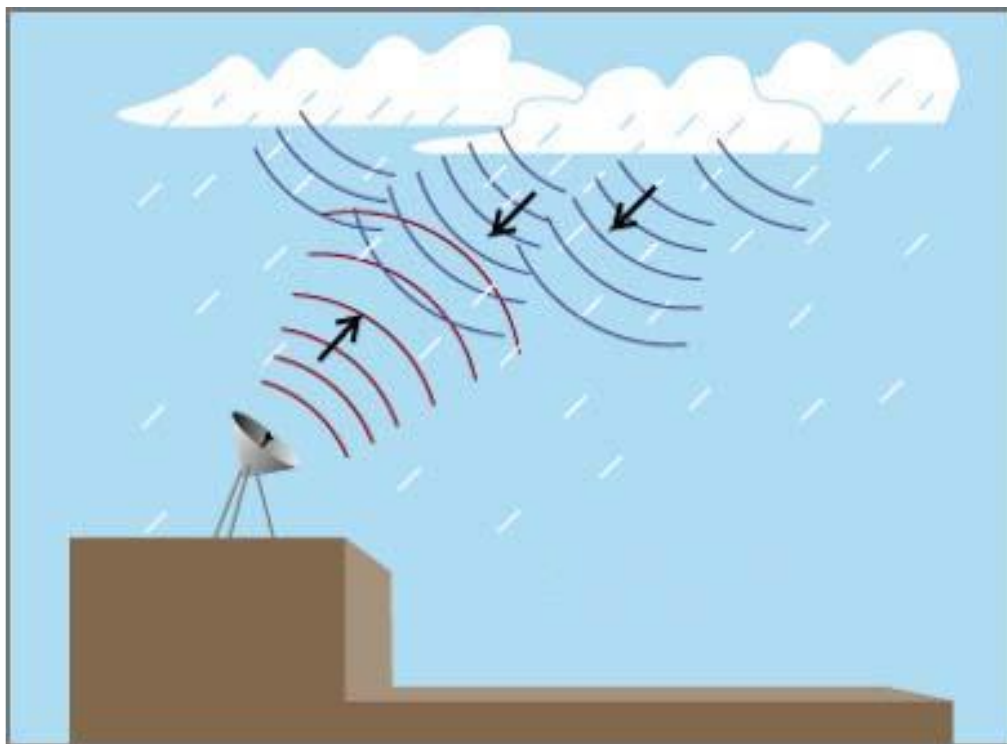
A localização da ECA deve seguir as normas e recomendações da Organização Meteorológica Mundial (OMM), o local deve ser representativo da região, a área que os aparelhos devem ocupar deve evitar sombreamentos ou interferência de um equipamento sobre outro. Instrumentos que não podem ser sombreados deve estar localizado na parte norte. A estação deve ser cercada a fim de evitar animais na área. A tela deve ser de arame galvanizado com malha de 5 cm e 1,5 m de altura (OMM).

2.2.2.2. Radar

O RADAR (Radio Detection And Ranging) meteorológico é um instrumento de sensoriamento remoto ativo capaz de localizar alvos, ou seja, precipitação, através do envio de ondas eletromagnéticas centralizadas em um feixe. Essa energia ao encontrar um alvo, parte volta para o RADAR e cada partícula reflete em determinada intensidade (GOMES, 1993).

Assim a intensidade de retorno do sinal está ligada ao tamanho do alvo identificado. O tempo em que o sinal retorna para o radar vai estimar a distância e altura do alvo (Figura 1).

Figura 1 – Princípio de funcionamento de um radar meteorológico



Fonte: Martinez, 2016.

Através do desse equipamento é possível registrar eventos de precipitação em escala bem menores. Outra grande vantagem do radar é a possibilidade de quantificar a precipitação de forma quase continua, tanto no tempo como no espaço (TUCCI *et al.*, 2007).

Segundo SARAIVA (2011), existem 3 tipos principais de radares meteorológicos de acordo com sua frequência e comprimento de onda; radares de banda X, C e S (Tabela 1).

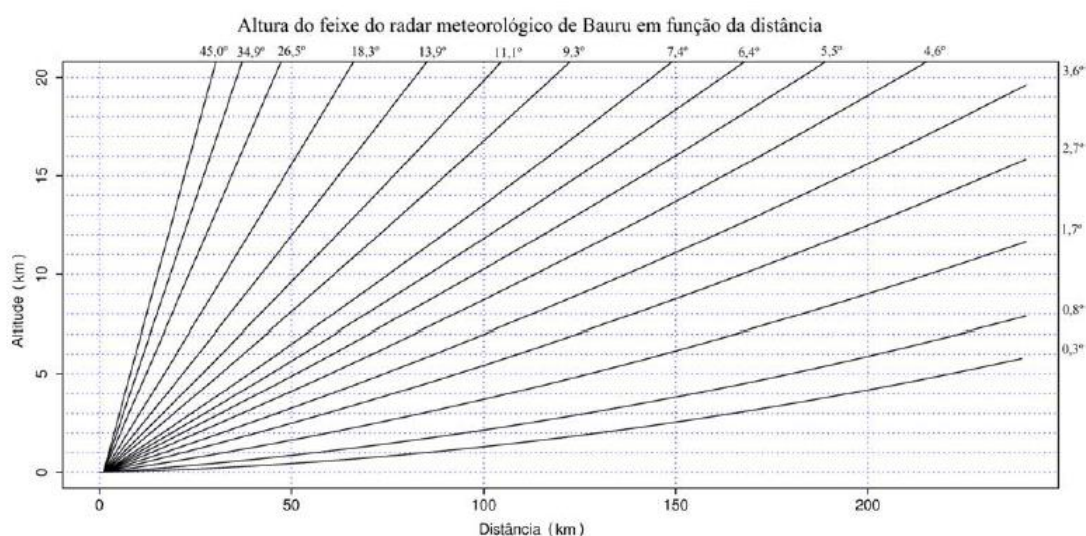
Tabela 1. Frequência de microondas utilizada pelo Radar

Faixa (cm)		Frequência (MHz)	Comprimento de onda (cm)
S	10	1650 a 3900	18,2 a 5,8
C	6	3900 a 6200	7,7 a 4,8
X	3	6200 a 11900	5,8 a 2,5

Fonte: Adaptado de Saraiva, 2011.

O radar possibilita dois tipos de produto. O primeiro produto é a imagem em Plan Position Indicator (PPI). Através dos PPIs será possível construir o segundo produto em Constant Altitude Plan Position Indicator (CAPPI). O produto PPI é gerado a partir de uma volta completa (360°) em torno do seu eixo, demonstrando a localidade das chuvas, sendo utilizada para monitorar precipitações a longas distâncias, ou seja, com alcance de até 450 km para vigilância meteorológica (Figura 2).

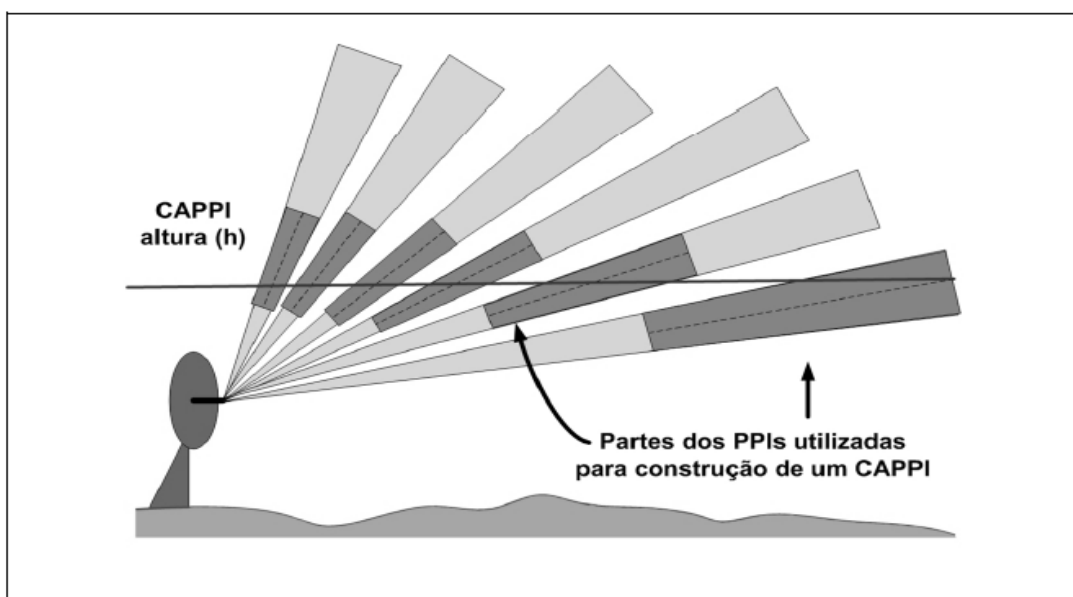
Figura 2 – Elevação do feixe do radar meteorológico de Bauru em função da distância



Fonte: Martinez, 2016

O CAPPI é um produto gerado através de várias varreduras completas do radar (360°), com ângulos de elevação diferentes, por exemplo, de 0,3° a 45° (varredura volumétrica 240 km) em relação ao horizonte. De cada varredura é extraído um anel de dados compondo alturas médias. Combinando os PPis de todas as elevações, tem-se uma varredura volumétrica a cada 7,5 min e um campo de precipitação de 240 km de raio, a partir do radar, com altura média e amostragem constante (Figura 3) (HELD, 2012).

Figura 3 – Ilustração de PPis utilizados para produzir um CAPPI.



Fonte: Bassan, 2014.

Radares que possuem capacidade Doppler, são sistema que identificam a intensidades da precipitação, e indicam a velocidade dos movimentos das gotas de precipitação ao longo das radiais, isto é, se as partículas estão movendo-se em direção ao radar ou se estão se afastando do radar (HELD, 2012). Desta forma o processamento do radar Doppler tem desempenhado um importante papel na meteorologia (GOMES, 1993).

O Radar estima a quantidade de chuva a partir do nível da refletividade do alvo. A partir de parâmetros físicos e matemáticos é possível relacionar a refletividade do radar com a taxa de precipitação (mm/h), conhecido como relação Z-R (TUCCI *et al.*, 2007). A relação Z-R é elaborada pela comparação de informações de precipitação com as refletividades observadas por radar sobre a posição dos pluviômetros, sendo necessária uma base de dados de vários anos (ANTÔNIO, 2007). Uma técnica alternativa para a determinação estatística de relação Z-R foi apresentada no Brasil por Calheiros (1982). Utilizando dados de radar banda C localizado em Bauru, e de pluviógrafos posicionados a distâncias diferentes do radar, em dois períodos chuvosos (outubro a março, 1981/82 e 1984/85), Calheiros e Zawadzki (1987) utilizaram um método de soma das probabilidades para determinar relações ZRs para aplicação em anéis, de distâncias variadas, concêntricos ao radar. A relação Z-R mede a energia retroespalhada do volume de gota (proporcional a 6 potência do diâmetro da gota), expresso por refletividade, em um determinado volume de ar (m^3), ($Z = \sum n \cdot D^6$), fator de refletividade do radar, que pode ser transformada em taxa de precipitação em mm/h:

$$Z = aR^b$$

Onde: a e b = constantes numéricas (a = 32 e b= 1,65);

Z – Fator de refletividade do radar (mm^6m^{-3}); e

R – Taxa de precipitação (mm/h).

2.2.2.3. Tropical Rainforest Measurement Mission (TRMM)

Além dos radares terrestres, sensores de rádio detecção aerotransportados e embarcados em satélites tem sido utilizado para diversos fins na análise ambiental. Um produto que se popularizou bastante nos últimos anos foi a estimativa de precipitação através das séries temporais fornecidas pela *Tropical Rainforest Measurement Mission* (TRMM) (Figura 4). Essa missão projetada para monitorar e estudar chuvas tropicais foi lançada 27 de novembro de 1997 em parceria entre a NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e a JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) (FUZZO-SILVA *et al.*, 2013). Trata-se de um satélite em orbita polar monitorando em altitude de 405 km entre as latitudes 35° norte a 35° sul, cobrindo as regiões tropicais e subtropicais do planeta, equipado com cinco sistemas sensores.

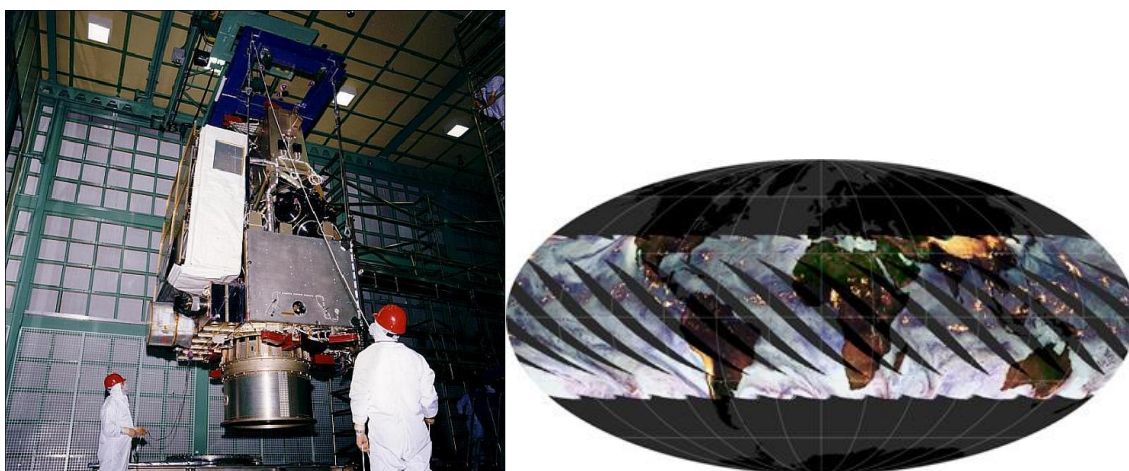


Figura 4 – Satélite TRMM (esquerda), orbita do satélite TRMM (direita)

Fonte: *Goddard Earth Sciences Data and Information services center (GES DISC)*

- VIRS (*Visible and Infrared Radiometer*), sensor que capta a radiação proveniente da Terra em cinco diferentes regiões espectrais (0,63, 1,6, 3,75, 20,8 e 12nm) do visível até o infravermelho. Os dados fornecem alta resolução de cobertura de nuvem, tipo de nuvem e de temperatura do topo da nuvem.
- PR (*Precipitation Radar*) fornece mapas de estrutura da tempestade em 3D, opera em 13,8GHz. Resolução horizontal de 5 km e largura de faixa de 247 km.
- LIS (*Lighting Image Sensor*) é um sensor passivo que detecta eventos de raios no planeta. Possui um sistema de lente optica que permite detectar relâmpagos

apesar da luminosidade das nuvens refletidas pelo sol, atua na faixa do oxigênio neutro (0.777 nm).

- CERES (*Clouds and Earth Radiant Energy System*) permite analisar a troca de energia entre o sol, atmosfera, superfícies e nuvens. O sistema operou entre janeiro e agosto de 1998 e março de 2000.
- TMI (TRMM *Microwave Imager*) é um sistema de radiômetro de micro-ondas passivo. Possibilita quantificar o vapor de água, intensidade de precipitação e quantidade de água presente na nuvem. Atua em cinco frequências diferentes de intensidade (10,7, 19,4, 21,3 37, 85,5 GHz.).

Existe uma gama de estudos que demonstram uma boa acurácia no que tange a estimativa em relação aos dados de precipitação de estação pluviométrica, realizados através de análise de regressão linear e métodos estatísticos (FUZZO-SILVA *et al.*, 2013; PEREIRA *et al.*, 2013). Os dados do satélite são disponibilizados pelo *Goddard Earth Sciences Data and Information Services center* (GES DISC) na plataforma *Geospatial Interactive Online and Analysis Infrastructure* (GIOVANNI), no portal *TRMM Online Visualization and Analysis System* (TOVAS), (ACKER;LEPTOUKH, 2007).

2.2.2. Evapotranspiração

A evapotranspiração (ET) representa a perda de água da superfície terrestre através dos processos combinados de evaporação (do solo e das superfícies das plantas) e transpiração da planta (isto é, evaporação interna). A evapotranspiração é considerada no atual trabalho como a perda de água pela evaporação no solo e a transpiração das plantas. Esse fator é importante para o balanço hídrico agrícola pois pode demonstrar a necessidade de irrigação (TUCCI, 2007) e pode ser estimado por diversos métodos em escala local que fornecem estimativas precisas para pequenas áreas (HEALY, 2010).

Segundo Tucci (2007), pode-se considerar dois tipos de evapotranspiração: a potencial (ETP), que é o montante de água transferida para atmosfera por evaporação e transpiração, em unidade específica de tempo, em uma área com vegetação baixa e com fornecimento de água; e a real (ETR) que corresponde ao

montante de água transferido em condições reais, podendo ter o mesmo valor da ETP ou ser menor.

O sensor MODIS (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) é o principal instrumento dos satélites Aqua e Terra do programa EOS (*Earth Observation System*), liderado pela NASA e contribuições de diversas nações, para o estudo de mudanças globais (SOARES et al., 2007). O satélite Terra foi lançado em 1999, e em 2002 foi lançado o satélite Aqua.

O sensor fornece observações globais da superfície terrestre, oceano e atmosfera, nas regiões do visível e do infravermelho próximo, com alta sensibilidade radiométrica (12 bits) em 36 bandas espectrais no intervalo de 0,4 a 14,4 μm do espectro eletromagnético (HUETE et al., 2002). Duas bandas (bandas 1 e 2) com 250 m de resolução espacial, cinco bandas (bandas 3 a 7) com resolução de 500 m e as bandas restantes (bandas 8 a 36) com resolução de 1 km (SOUZA, 2016). Com varredura de 55° para cada lado a uma órbita de 705 km de altura, o sensor tem a capacidade de imagear uma faixa de 2.330 km, cobrindo totalmente a terra a cada 2 dias. (ZHAO et al., 2005).

A seleção das bandas MODIS foi criada para observação dos aspectos das características das nuvens e sua dinâmica, propriedades da vegetação na cobertura terrestre, e da temperatura da superfície dos oceanos do mundo (SHIMABUKURO, 2006). Segundo Soares et al. (2007), as feições das bandas possibilitaram o desenvolvimento de 44 produtos MODIS padrão para calibração, atmosfera, continente, criosfera e oceanos. Apresentou inovações em relação aos seus antecessores na qualidade dos detectores e no sistema de imagem, aumentando o número de bandas, processamento de dados com algoritmos específicos, produtos de alta qualidade e correção atmosférica, radiométrica e geométrica (HUETE et al., 2002).

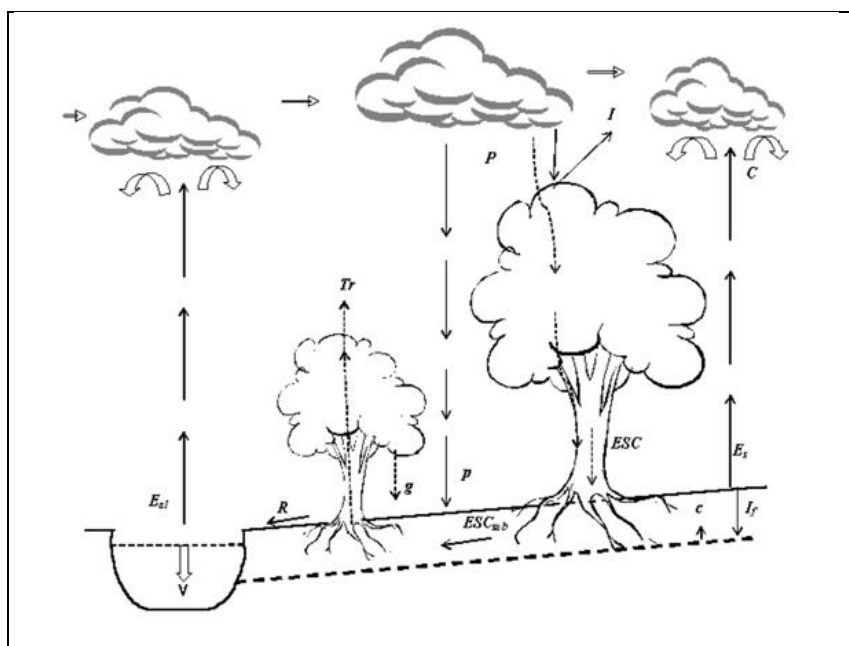
Para estimativas de evapotranspiração foi desenvolvido o algoritmo MOD16 (MU et al., 2011). Com ele é possível estimar a evapotranspiração global de superfície a partir de imagens MODIS e dados meteorológicos do *Global Modeling and Assimilation Office* (GMAO). O MOD16 é uma correção do algoritmo proposto por Cleugh et al. (2007), adaptando a equação de Penman-Monteith para ser utilizado com dados de sensoriamento remoto. Os dados de entrada MODIS requeridos para o algoritmo MOD16 possuem resolução espacial entre 500 m e 1 km e incluem os produtos globais de uso e cobertura da terra (MORAES; OLIVEIRA, 2015). Os dados utilizados no algoritmo, são dados de reanálise diários do GMAO, de radiação solar incidente, temperatura do ar e pressão de vapor da água (ZHAO et al., 2005). Por fim, os dados

MOD16 possuem 1 km de resolução espacial e abrangem uma superfície de ≈ 109 milhões de km^2 .

2.2.3 Intercepção

A intercepção é um processo extremamente importante para a hidrologia. O processo resulta em perdas de água que de outra forma chegaria ao solo, demonstrando a importância de fatores que influenciam no ciclo da água e na hidrologia de uma bacia hidrográfica (LIMA, 1983). Segundo Tucci (2008), intercepção pode ocorrer devido a vegetação ou outra forma de obstrução ao escoamento. O volume retido perdido por evaporação é retornado a atmosfera. Para Honda (2013), a intercepção é calculada pela precipitação (P) menos a Precipitação Interna (PI) e escoamento pelo tronco (Figura 5).

Figura 5 – Ilustração de Intercepção da precipitação da vegetação



Fonte: Honda, 2013.

A água que chega em superfície é chamada de precipitação efetiva. A capacidade de armazenar água depende da fisionomia de cada árvore. O escoamento pelo tronco somente é viável para vegetação com tronco de magnitude razoável, representando uma pequena parcela do total precipitado (TUCCI, 2008). Para a intercepção foi criado um mapa de classificação de cultura com polígonos baseados no plano de manejo (MELO; DURIGAN, 2011) e imagem de satélite Landsat de novembro de 2014. Para

cada polígono de cultura foram gerados valores referentes de interceptação seguindo os parâmetros propostos por Honda (2013).

2.2.4 Armazenamento Subterrâneo

O armazenamento de águas em bacias hidrográficas ocorre nos reservatórios em superfície, na zona saturada e não saturada (HEALY, 2011). O armazenamento subterrâneo é a quantidade de água até o nível freático ou zona de plano de fluxo (ZPF), sendo que nessa zona, parte da água se eleva através da ação da evapotranspiração, e a água que fica abaixo dessa zona, move-se lentamente em inúmeras direções, esta água é também considerada de armazenamento subterrâneo (USGS, 1998). O plano de informação de flutuação do nível freático foi gerado a partir dos dados de piezômetros e dados climatológicos coletados no período, utilizando o programa Hydrograph Analysis: Rainfall and Time Trend (HARTT) conforme descrito em Silva e Manzione (2016). A partir das análises das hidrógrafas dos poços, estimou-se a amplitude da oscilação e multiplicou-se pela porosidade média do SAB para a região que é de aproximadamente 15%.

2.2.5 Escoamento superficial

O escoamento superficial foi estimado com base nos trabalhos sobre cerrado de Contin Neto (1984) e Silva e Oliveira (1999) que mediram o escoamento em uma bacia com vegetação natural na região centro-oeste no Brasil onde obteve-se o valor de 3%. Lima et al. (2001) comparou a evapotranspiração real simulada e observada em uma bacia em ambiente de Cerrado, encontram o escoamento superficial a partir da evapotranspiração. Gomes (2008) e Lima (2010) propuseram uma modelagem numérica do fluxo de água e escoamento em uma bacia hidrográfica em ambiente de cerrado onde foi encontrado o valor de 3% para o escoamento superficial. Oliveira (2014) analisou o balanço hídrico e a erosão do solo no cerrado brasileiro, onde foram obtidos valores menores que 1%. Manzione e Safre (2014) avaliaram o escoamento superficial para o Ribeirão do Bugre na EECSB onde encontram valores menores que 1%.

Safre e Manzione (2014) calcularam o Escoamento Superficial na EECSB através do Método do *Curve Number* (CN) desenvolvido pelo *Soil Conservation Service* (SCS) que determina o escoamento superficial gerado por eventos de precipitação, relacionado com as condições de superfície do solo. O método do SCS calcula o coeficiente de escoamento superficial direto a partir das características da

cobertura superficial do terreno e das características físicas e umidade antecedente, dos diferentes tipos de solos encontrados em uma bacia hidrográfica (TUCCI, 2007) e calcula a partir de diversas porcentagens de impermeabilização da cobertura superficial do terreno e características físicas dos diferentes grupos hidrológicos de solos. Para a área de estudo encontraram valor médio de 4% de escoamento superficial (FEITOSA; MANOEL FILHO, 2000).

2.3 Geotecnologias aplicadas ao monitoramento agrometeorológico

A necessidade de uma visão holística e precisa nas tomadas de decisões no planejamento agrícola tem utilizado as Geotecnologias de forma significativa nos últimos anos através de Geoprocessamento e Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

O avanço da Geotecnologia deve-se a melhoria dos processos de gestão e incremento da eficiência em seu planejamento e a necessidade de cumprimento da legislação. Com isso essas tecnologias possibilitam a geração de tabelas e mapas, produzindo um maior número de informações e ampliando a abrangência e as possibilidades de aplicação destas informações (VOLPATO *et al.*, 2008). A visualização dos dados espacializados em mapas facilitam a compreensão dos fenômenos em escala local, regional e global.

Segundo Câmara *et al.* (2001), o Geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para a obtenção, manipulação e apresentação de dados e informações geográficas. Pode estar ligado a qualquer atividade voltada para o mapeamento da superfície terrestre, assim como análise da sua superfície (BIELENSKI JÚNIOR; BARBASSA, 2012). Ainda segundo Bielencki Júnior e Barbassa (2012), quando aplicado a uma temática específica, o geoprocessamento se sustenta em três pilares: o conhecimento da área, ou seja, tudo aquilo que define as regras e a forma de interação dos dados; a cartografia, que busca a excelência da espacialização; e a informática, onde está a ligação entre a interação dos dados e a espacialização.

O Geoprocessamento surgiu com a utilização de ferramentas computacionais para manipulação de dados espaciais georreferenciados através de ferramentas computacionais, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (CÂMARA, 2004). Essa ferramenta tem a capacidade de armazenar, manipular, organizar, visualizar dados de amplas formas e emitir em informações espaciais, auxiliando uma gestão integrada dos dados (SANTOS *et al.*, 2012). SIG pode ser definido

como um sistema provido de quatro grupos de aptidões para manusear dados georreferenciados: entrada, gerenciamento, manipulação e análise, e saída (ARONOFF, 1989). Aliado a dados de sensoriamento remoto, seu uso é cada vez mais requerido em estudos de análise espacial, agricultura, gestão de recurso hídricos e agrometeorológico.

O sensoriamento remoto é a ciência de obter informações sobre determinados alvos à distância através do registro da interação da radiação eletromagnética, sem contato físico com o objeto. Envolve a detecção, aquisição e análise da energia eletromagnética emitida ou refletida pelo objeto (SAUSEN, 2005).

Sensoriamento remoto consiste no registro de dados de uma região, sem o contato direto, por meio de instrumentos tais como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas tais como aeronaves ou satélites, e a análise da informação adquirida por meio visual ou processamento digital de imagem (JENSEN, 2009).

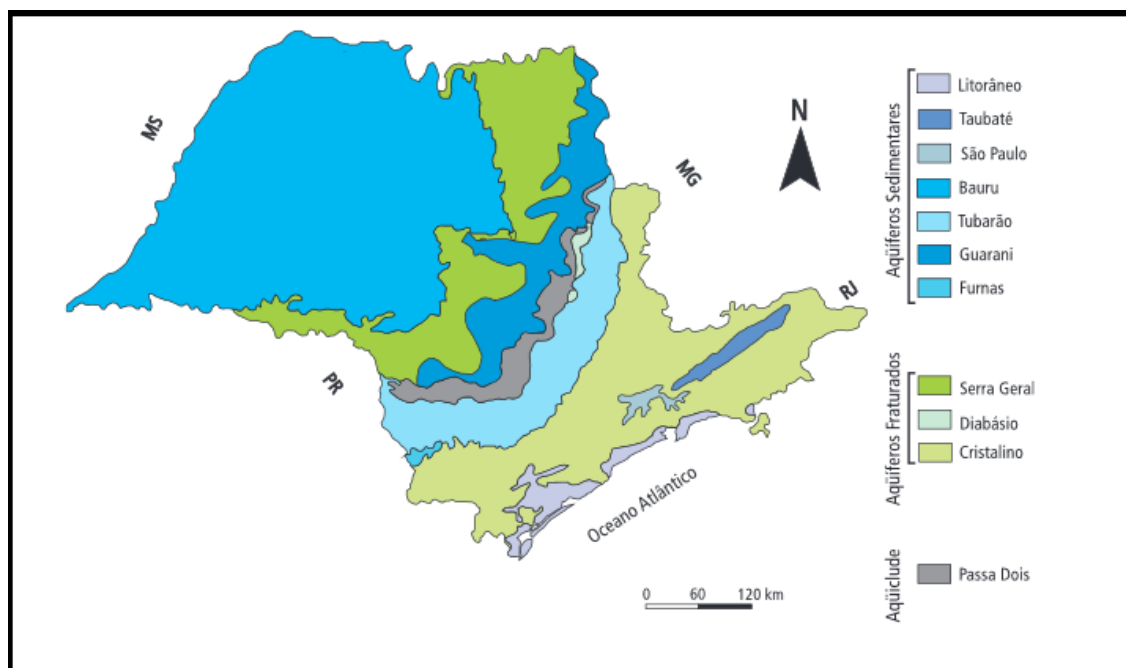
O sensoriamento remoto configura-se como uma forma rápida e econômica para aquisição de dados de informações geográficas e, quanto a relação entre esta técnica e os recursos hídricos, pode-se destacar o mapeamento de áreas inundadas e a classificação do uso e ocupação de solo, a partir de satélites e radares (BIELENSKI JÚNIOR; BARBASSA, 2012).

Assim, as geotecnologias podem ser aplicadas de forma eficiente na gestão de recursos hídricos, por se tornarem dados de entrada de aquisição rápida e econômica. Na gestão, é importante ressaltar o papel do controle da oscilação do nível freático a partir da irrigação e drenagem, visto que um bom planejamento destes aspectos fornece uma melhoria significativa no aspecto econômico da produção agrícola. A gestão dos recursos hídricos feita de forma eficiente pode melhorar o abastecimento de água e buscar novas fontes de produção de água para os municípios com mais necessidade.

2.4 O Sistema Aquífero Bauru (SAB)

O Sistema Aquífero Bauru possui água de boa qualidade e baixo custo de exploração. Ocupa grande parte do oeste do Estado de São Paulo (Figura 6), sendo um sistema aquífero livre com grande área de afloramento (IRITANI; EZAKI, 2012). Essas condições facilitam sua exploração e lhe confere uma maior vulnerabilidade à contaminação por atividades agrícolas e industriais. Cerca de 240 municípios do interior paulista, entre eles Presidente Prudente, Bauru, Marília, Araçatuba, utilizam suas águas, 87% são abastecidos integralmente por água subterrânea (SILVA *et al.*, 2005).

Figura 6 – Principais aquíferos do Estado de São Paulo.



Fonte: Iritani e Ezaki, 2012

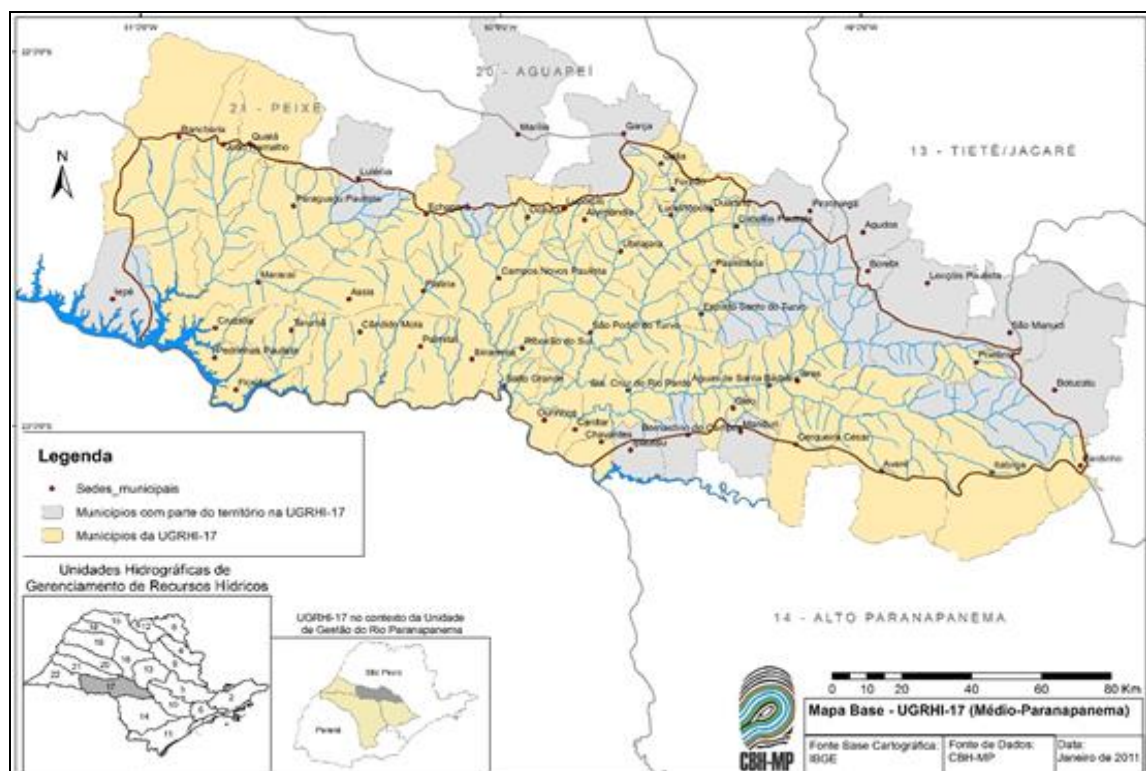
Este aquífero encontra-se sobreposto ao basalto da Formação Serra Geral, e seus sedimentos foram depositados durante o cretáceo superior. O Sistema Aquífero Bauru é uma unidade hidrogeológica livre, não confinada formado há mais de 65 milhões de anos (CTPI, 2007). Sua composição é de rochas sedimentares arenosas, areno-argilosas e siltosas, depositadas em ambiente desértico e fluvial, sob clima árido e semiárido, podendo chegar a 300 metros de espessura (IRITANI; EZAKI, 2012). Este aquífero é considerado de produtividade média a alta e, também, água com boa qualidade para consumo humano. A pouca profundidade do aquífero, facilita a extração e perfuração de poços, para utilização no abastecimento público (SILVA *et al*, 2005).

O Grupo Bauru está dividido em quatro formações; Caiuá, Santo Anastácio, Adamantina e Marília, com base na relação de contato e nas características de cada Formação. Abrange uma área de 102.000 km² no centro-oeste do Estado de São Paulo. A área de estudo localiza-se sobre as Formação Adamantina e Formação Marília na Unidade de Gerenciamento de Recurso Hídricos – 17 (UGRHI- 17).

A Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos 17 (UGRHI-17), Médio Paranapanema (Figura 7), possui uma área de 16.749 km², e abrange os rios tributários da região média do Rio Paranapanema, destacando os rios Pardo, Turvo,

Capivara, Novo e Pari. A UGRHI-17 é limitada ao sul pela UGRHI-14 (Alto Paranapanema); a oeste pela UGRHI-22 (Pontal do Paranapanema); ao norte por três unidades: UGRHI-21 (Aguapeí), UGRHI-20 (Peixe), UGRHI-16 (Tietê-Batalha), UGRHI-13 (Tietê-Jacaré); e ao leste pela UGRHI-10 (Tietê-Sorocaba), no estado de São Paulo. (CTPI,2007).

Figura 7: Unidade de Gerenciamento dos Recursos Hídricos 17 (UGRHI-17)



Fonte: CTPI, 2007

A disponibilidade hídrica superficial da unidade é de 193,87 m³/s ($Q_{\text{médio}}$) e 79,54 m³/s ($Q_{7,10}$). O potencial de geração de energia elétrica instalado é de 275.692 kW. Quanto as águas subterrâneas, as reservas totais exploráveis são na ordem de 20,7 m³/s, sendo as principais unidades aquíferas: Sistema Aquífero Bauru e Sistema Aquífero Guarani.

A demanda recursos hídricos se divide em superficial e subterrânea: no âmbito subterrâneo, a demanda é de 4,15% em relação as reservas exploráveis; já superficialmente, é de 12,60% em relação a vazão ($Q_{7,10}$). Em valores absolutos, a demanda por recursos hídricos é de 5,06 m³/s para o uso rural, 2,73 m³/s para uso industrial e 1,10 m³/s para usos urbanos. Segundo o Plano de Bacia da UGRHI-17, o uso

e ocupação do configura em 8 usos: culturas perenes, 2,2%; áreas de culturas semi-perenes, 13,6%; áreas de culturas temporárias, 14,8%, áreas de pastagens, 54,9%; áreas de reflorestamento, 4,8%; cobertura vegetal natural, 6,2%; áreas urbanas, 1% e outros usos, 2,5% (CTPI, 2007).

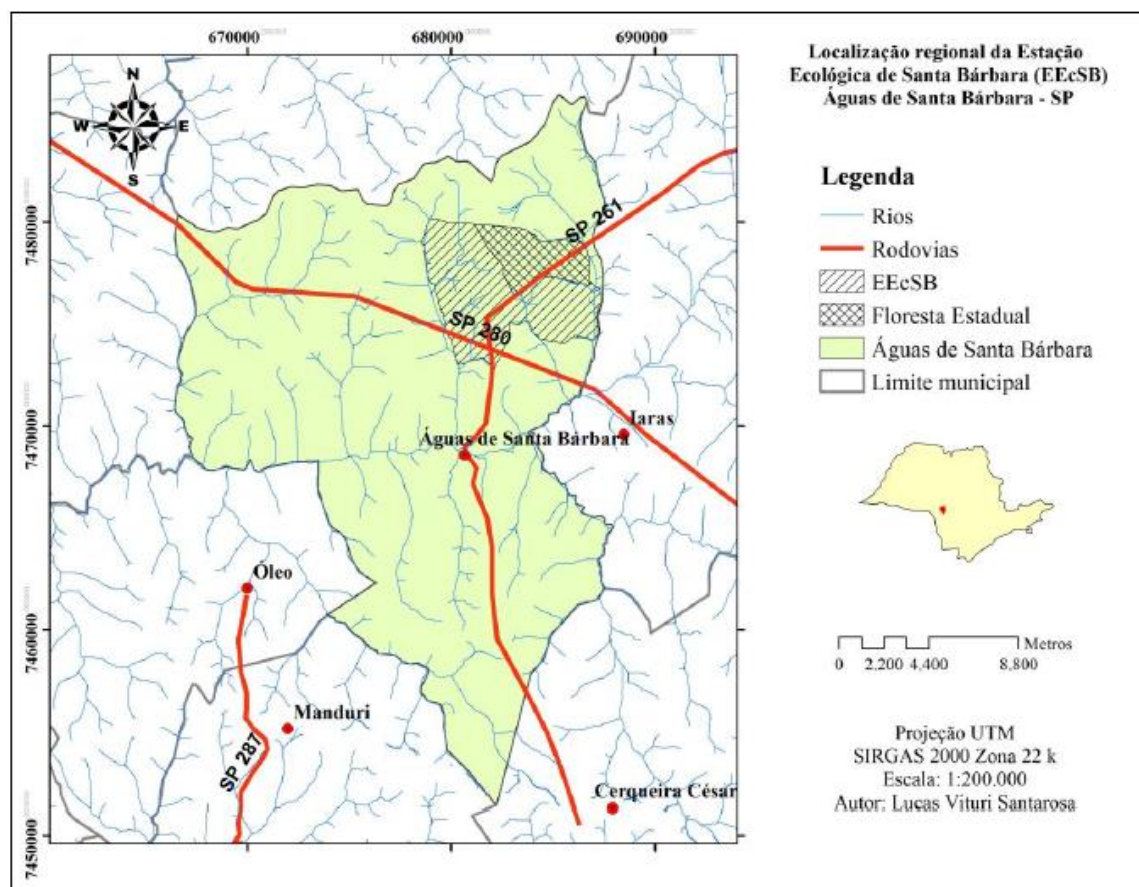
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A Estação Ecológica de Santa Barbara (EEcSB) foi criada a partir de uma área maior que constituía a Floresta Estadual de Águas de Santa Barbara I. Possui área de 2.712 hectares, predominada de vegetação nativa de cerrado, mata galeria e brejos, e recortes de reflorestamento de pinus e eucalipto (Figura 8). Está localizada à Rodovia SP 26 – km 58, latitude 24°48' S e longitude 49°13' (MELO; DURIGAN, 2011). A Floresta Estadual foi criada através da combinação de acontecimentos a partir da década de 1960: Código Florestal, incentivos fiscais para práticas de reflorestamento, Constituição Federal de 1967 e a criação do Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF) (SANTAROSA, 2016).

Neste período, o governo do Estado de São Paulo fez desapropriação de terras para criação da Floresta Estadual de Santa Bárbara pelo decreto nº 44.305 de 30 de dezembro de 1964 (MELO; DURIGAN, 2011).

Figura 8 – Mapa base da Região da Estação Ecológica de Santa Bárbara.



Fonte: Santarosa (2016).

Segundo o Melo e Durigan (2011), a região está localizada na Bacia Sedimentar do Paraná e no Planalto Ocidental Paulista por toda área afloram sedimentos da Formação Adamantina e Formação Marília do Grupo Bauru. Seu relevo possui leve vertente voltada para oeste, formando uma extensa plataforma estrutural extremamente suavizada, com relevo predominante de colinas com baixa declividade e altitudes de 600 a 680m. Sua área pertence a Unidade de Gerenciamento de Recurso Hídricos 17, Médio Paranapanema (UGRHI – 17). Nas áreas de menor altitude rochas basálticas da Formação Serra Geral. Possui nascentes da bacia do Passarinho, Ribeirão do Bugre e Santana. Bacias que contribuem para o Rio Pardo, principal manancial da UGHR-17, no seu interior ainda passa o Ribeirão Capão Rico e o Ribeirão Capivari, mas com nascentes em propriedades privadas. Ocorre o predomínio na vegetação de cerrado, com fisionomias abertas, de árvores pequenas e esparsas ou ausentes. No Sul uma pequena área de Mata Atlântica, e uma área de transição entre os dois biomas (MELO; DURIGAN, 2011).

Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa ou tropical sub-úmido (clima quente com inverno seco). As precipitações anuais em torno de 1000- 2086 mm. A temperatura média anual está em torno de 18°C, com máximas em janeiro entre 22°C e 30°C e mínimas no mês mais frio 18°C (SILVA; MANZIONE, 2016).

A área de estudo possui uma Estação Climatológica Automática (ECA) para monitoramento climatológico de superfície pertence ao Laboratório de Hidrologia e Hidrogeologia Operacional (LabH2O) da UNESP/Ourinhos. É uma estação de monitoramento climatológico completo da marca Campbell com sensores para medição de temperatura, umidade relativa, velocidade e direção do vento, precipitação e radiação solar e um *datalogger* para armazenamento dos dados e realização de alguns cálculos como o da evapotranspiração pelo método ASCE. O método ASCE foi criado para padronizar o cálculo de evapotranspiração de referência é um modelo combinado de Penman-Monteith, proposto por Penman (1948), adaptado pela Food and Agriculture Organization - FAO (ALLEN et al.,1998) e pela ASCE - American Society of Civil Engineers (ALLEN et. al., 2005).

3.2 Estimativa da recarga

A estimativa da recarga para o ano hidrológico 2014 -2015, foi utilizada seguindo os procedimentos propostos por Healy (2010), exposta na Equação 1.

$$R = P - Et - R_{off} - I + \Delta S \quad (1)$$

Onde: P é a precipitação, Et é a evapotranspiração, R_{off} é o escoamento superficial, I é a interceptação, ΔS é a variação do armazenamento subterrâneo, e R é o residual, ou seja, a quantidade de água que infiltra, podendo virar escoamento subterrâneo ou recarga.

A maior limitação do método do balanço hídrico que a acurácia dele depende da acurácia na medição dos outros componentes da equação (SCANLON et al., 2002).

Esses dados foram organizados em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG) na forma de camadas espaciais, de forma que pudessem ser manipuladas e calculados os valores de recarga para toda a área de estudo, sendo possível realizar a álgebra de mapas através da Equação 2:

$$M_f = M_p - M_{et} - M_I - M_{R_{off}} - M_{\Delta S} \quad (2)$$

Onde: M_p é o mapa de precipitação, M_{et} é o mapa de evapotranspiração, M_I é o mapa de interceptação, $M_{R_{off}}$ é o mapa de escoamento, e $M_{\Delta S}$ é o mapa de variação do armazenamento subterrâneo.

3.2 Processamento e dados utilizados

3.2.1 Precipitação

Os dados de precipitação foram obtidos em diferentes níveis de resolução espacial, em produtos de acumulado mensal do período de janeiro de 2004 a dezembro de 2016.

Os dados em escala local foram retirados em precipitação mensal da ECA (Estação Climatológica Automática localizada na EECsB).

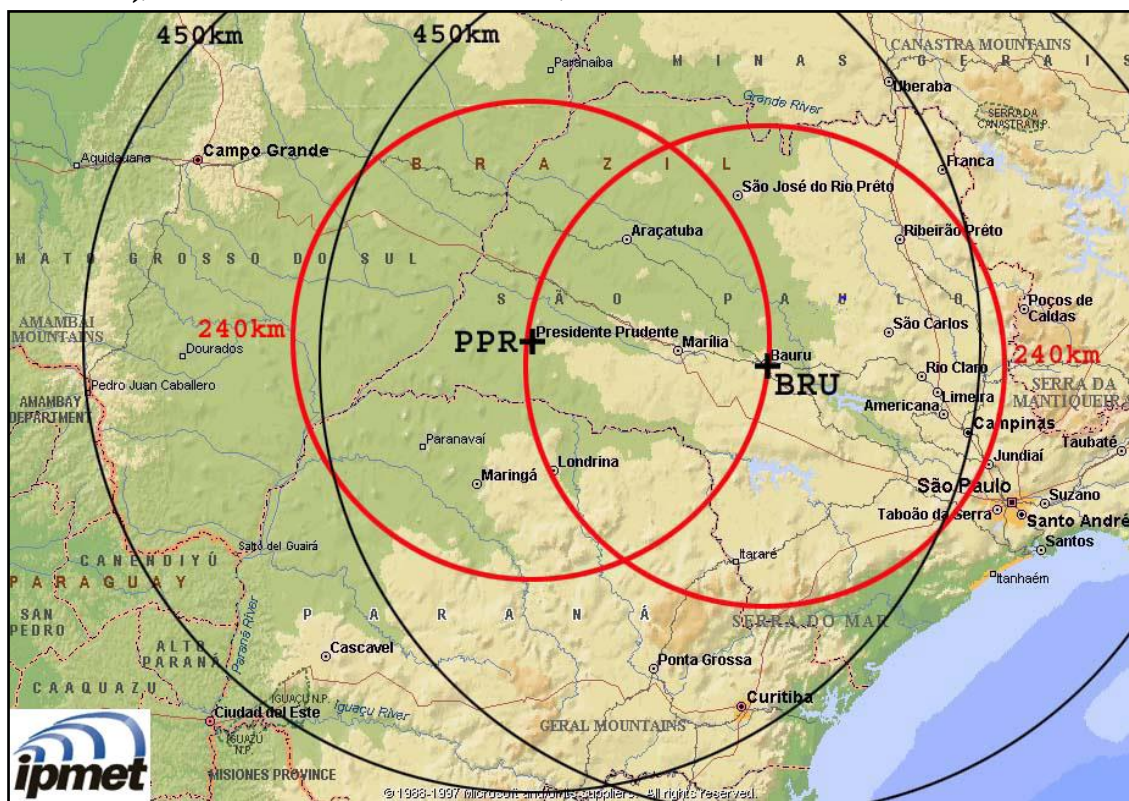
Os dados em escala regional em estações pluviométricas no site Hidroweb (hidroweb.ana.gov.br) da Agência Nacional de Águas (ANA). Assim como os dados de estação da ANA. Os dados de precipitação mensal foram retirados das estações pluviométricas de Águas de Santa Bárbara (2249029), Cerqueira César (2349002), Domélia (2249105), Lobo (2248032), Pirajú (2349007) e Turvinho (2249103) do banco de dados do CIIAGRO na plataforma HidroWeb da Agência Nacional de Águas (ANA,

2015). O período analisado foi de janeiro de 2004 a dezembro de 2014. Foram organizados em formato *shape* e inseridos em plataforma SIG para cada estação.

Os dados de Radar Meteorológico de precipitação acumulada no programa Titan e dados de precipitação mensal acumulado do produto 3b43-v7 do Satélite *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM) foram utilizados em escala global. Os dados foram coletados e armazenados em uma frequência horária na ECA. O programa da ECA também está configurado para calcular a evapotranspiração de referência pelo método ASCE (ALLEN et al., 2005). A ECA está localizada junto a sede da EEcoSB.

Os radares utilizados para este estudo são operados e mantidos pelo IPMet/UNESP, e estão instalados nos municípios de Bauru (BRU) e Presidente Prudente (PPR), localizados na área central e oeste do estado de São Paulo (Figura 9).

Figura 9 - Rede de radares *Doppler* do IPMet (BRU = Bauru; PPR = Presidente Prudente), mostrando os anéis de 240km, e 450km.



Fonte: Held et al. 2012.

Para o processamento dos dados de Radar meteorológico foi utilizado o software TITAN (*Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting*; Dixon e Wiener, 1993), que é um sistema para aplicação em previsão imediata do deslocamento de tempestades. O TITAN define as tempestades como regiões

tridimensionais de refletividades excedendo um determinado limiar e combinando-as de modo lógico, entre duas observações consecutivas de radar (KOKITSU, 2005).

O dado processado pelo TITAN é o formato *Meteorological Data Volume* (MDV), capaz de armazenar dados em três dimensões em grade cartesiana. A aplicação “*PrecipAccum*” processa o dado de radar e estima a quantidade de precipitação no solo (KOKITSU, 2005); calcula a taxa de precipitação a cada execução do radar (PrecipAccum.single), e pode ser configurada para outros períodos (PrecipAccum.Totalmes). Foi processado o período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014 dados de precipitação acumulada mensal para análise estatística e o balanço hídrico.

Foram processados através da aplicação PrecipAccum.single utilizando as equações Z-R de Calheiros (1982) e de Rosenfeld (1993) para todo o período. A aplicação PrecipAccum.Totalmes (acumulado do mês) utilizou as duas equações Z-R e foram processados a cada mês. Para exportar esse dado, foi utilizado a aplicação MDV2Ascii, que transforma o dado MDV em ASCII. Os dados foram tratados em SIG e processados em formato TIFF.

Os dados do satélite TRMM foram retirados no portal *TRMM Online Visualization and Analysis System* (TOVAS), na plataforma *Geospatial Interactive Online and Analysis Infrastructure* (GIOVANNI) do site *Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center* (GES DISC) (ACKER; LEPTOUKH, 2007). Foram utilizados dados de precipitação do algoritmo TRMM_3B43 v7 (*Precipitation Rate*, mm/monthly), através do link <http://giovanni.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>, com resolução espacial de 0,25°, acumulado mensal do período de janeiro de 2004 a dezembro de 2015. Os dados foram tratados em SIG e processados em formato TIFF.

Os dados obtidos foram organizados em tabelas, transformados em arquivos formato .csv que por sua vez, foram incorporados no ambiente SIG, onde se tornaram pontos de amostragem, possibilitando a interpolação para se criar o *shape* de precipitação utilizado na construção dos mapas finais deste trabalho.

3.2.2 Evapotranspiração

Para a evapotranspiração, por sua vez, foram utilizadas séries em nível local, da ECA na EECSB, em nível regional, de estações do CIIAGRO no entorno da área, e nível global, dados do sensor MODIS.

A evapotranspiração de referência foi processada pelo método ASCE (ALLEN et al., 2005) através dos dados diários acumulados da ECA localizada na EECSB. A estimativa da Evapotranspiração diária foi realizada com o método de Penman-Monteith, padronizado pela ASCE (Equação 3).

$$ET_o = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{c_n}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + C_d u_2)} \quad (3)$$

Onde: ET_o ; é a evapotranspiração de referência (mm dia^{-1}); Δ ; é a declividade da curva de pressão de vapor da água à temperatura do ar ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n : Radiação líquida calculada para a superfície ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); G : Densidade do fluxo de calor do solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$); T : Temperatura média do ar (Horária ou diária); u_2 : Velocidade média do vento a dois metros de altura (m s^{-1}) (Horária ou diária); e_s : Pressão de saturação do vapor de 1,5 a 2,5 metros (kPa); e_a : Pressão de vapor atual de 1,5 a 2,5 metros (kPa); e γ : constante psicrométrica ($\text{kPa. } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Foram utilizados os dados do portal CIIAGRO online, das estações de Manduri, Ipaussu, Sarutaia e Piraju. Estão disponibilizados em dados semanais, os dados foram processados e convertidos em dados mensais. Outros dados utilizados para esse projeto foram retirados do site *Numerical Terradynamic Simulation Group* (NTSG) da Universidade de Montana, EUA, do projeto global de evapotranspiração (MOD16), através do link: <http://www.ntsg.umt.edu/project/mod16>. Os dados estão organizados em formato GEOTIFF, acumulado mensal com resolução de $0,05^\circ$ de janeiro de 2004 a dezembro de 2014.

Da mesma forma que os dados de precipitação, os dados obtidos foram organizados em tabelas, transformados em arquivos formato .csv que por sua vez, foram incorporados no ambiente SIG, onde se tronaram pontos de amostragem, possibilitando a interpolação para se criar o shape de evapotranspiração utilizado na construção dos mapas finais deste trabalho.

3.3 Análise dos dados

Parâmetros estatísticos como as medidas de tendência central e dispersão (média, desvio padrão e mediana), o coeficiente de correlação de Pearson (CALLEGARI-JACQUES, 2003), a função de distribuição de probabilidades (WILKS, 2001) e o teste de Kolmogorov-Smirnov para duas amostras (TRIOLA, 2008) foram determinados no sentido de verificar a existência de correlação entre os dados oriundos de estações meteorológicas e os dados do satélite TRMM, Radar meteorológico e do sensor MODIS.

Assim, determinou-se uma curva de regressão linear, através dos mínimos quadrados (CALLEGARI-JACQUES, 2003), para os conjuntos de dados em questão.

Da estatística clássica, dado um conjunto de dados X com n elementos, a média $\bar{x}$, o desvio padrão σ e a mediana $\tilde{x}$ são dados, respectivamente, pelas equações 4, 5 e 6.

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n \frac{x_i}{n} \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{(n - 1)}} \quad (5)$$

$$\tilde{x} = \frac{(n + 1)}{2} \quad (6)$$

Foi verificado Coeficiente de Correlação de Pearson (ρ) que traduz o comportamento do crescimento/decrescimento de dois (ou mais) conjuntos de dados que acredita se existir uma correlação e se o parâmetro $\rho = 1$ (perfeita correlação positiva) isso indica que à medida que um conjunto de dados cresce ou decresce, o outro conjunto tem o mesmo sentido respectivamente; se o parâmetro $\rho = -1$ (perfeita correlação negativa) isso indica que à medida que um conjunto de dados cresce, o outro decresce e as medidas entre -1 e 1 mostram o percentual do sentido de correlação.

Formalmente, dados dois conjuntos de dados X e Y de mesma cardinalidade n , com $x_i \in X$ e $y_i \in Y$ o coeficiente de correlação de Pearson ρ é dado pela Equação 7.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (7)$$

O quadrado do coeficiente de correlação de Pearson é chamado de coeficiente de determinação ou simplesmente chamado de R^2 , é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado (CALLEGARI-JACQUES, 2003). O R^2 varia entre 0 e 1, indicando, em porcentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quanto maior o R^2 , mais explicativo é o modelo, melhor ele se ajusta à amostra (Equação 8).

$$R^2 = \frac{a \sum y + b \sum xy - n(\bar{y})^2}{\sum y^2 - n(\bar{y})^2} \quad (8)$$

A função de distribuição de probabilidades, usualmente referenciada pela sigla em inglês ECDF (*Empirical Cumulative Distribution Frequency*), descreve completamente a distribuição da probabilidade de uma variável aleatória de valor real x . Denotada por $F(X) = P(X \leq x)$, essa função expressa a probabilidade de uma variável aleatória X assumir valor menor ou igual a um valor x real. No caso de uma variável discreta onde, para cada $x_i \in X$, $f(x_i)$ representa a probabilidade de $x_i \leq x$, $F(X)$ é dada pela Equação 9.

$$F(X) = \sum_{x_i \leq x} f(x_i) \quad (9)$$

O teste de Kolmogorov-Smirnov é utilizado para testar se duas amostras vêm da mesma distribuição, através do parâmetro D . Dadas dois conjuntos X e Y , suponha-se que a primeira amostra tem tamanho m com uma função de distribuição cumulativa observado de $F(X)$ e que a segunda amostra tem tamanho n com uma função de distribuição cumulativa observado de $G(X)$, assim define a Equação 10

$$D_{m,n} = \max|F(x) - G(x)| \quad (10)$$

Este teste admite como hipótese nula H_0 : ambas as amostras vêm de uma população com a mesma distribuição. No teste de Kolmogorov-Smirnov, rejeitamos H_0 (no nível de significância μ) se $D_{m,n} > D_{m,n,\mu}$

Onde $D_{m,n,\alpha}$ é o valor crítico tabelado. Do contrário, aceita-se H_0 . Neste estudo, consideramos $\mu = 0,05$.

Por fim, o Método dos Mínimos Quadrados estima uma curva $y = \alpha + \beta x$ pela qual deseja-se estimar valores para a variável y a partir da variável x . Neste método, os parâmetros α e β são definidos pelas Equações 11 e 12.

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n x_i(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n y_i(x_i - \bar{x})} \quad (11)$$

$$\alpha = \bar{y} - \beta \bar{x} \quad (12)$$

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análises de correlação dos diferentes dados de entrada de precipitação

4.1.1 Estações climatológicas de superfície e dados TRMM

Os dados de estações climatológicas de superfície foram retirados do banco de dados na plataforma HidroWEb da Agencia Nacional de Águas (ANA, 2015). Esses dados foram comparados às séries coletadas pelo satélite TRMM. O período analisado foi de janeiro de 2004 a dezembro de 2014; estação de Águas de Santa Barbara (2249029), Cerqueira Cesar (2349002), Domélia (2249105), Lobo (2248032), Piraju (2349007) e Turvinho (2249103). Para cada estação foram geradas as medidas estatísticas: média ($\bar{x}$), desvio-padrão (σ) e mediana ($\tilde{x}$), coeficiente de correlação de Pearson (ρ), o coeficiente de determinação R^2 e as curvas de regressão linear entre os dois conjuntos de dados. A regressão foi avaliada quanto ao coeficiente de determinação da reta assim como pelas funções de distribuição de probabilidades e pelo teste de Kolmogorov-Smirnov. Os resultados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos calculados para a precipitação registrada para o período em análise

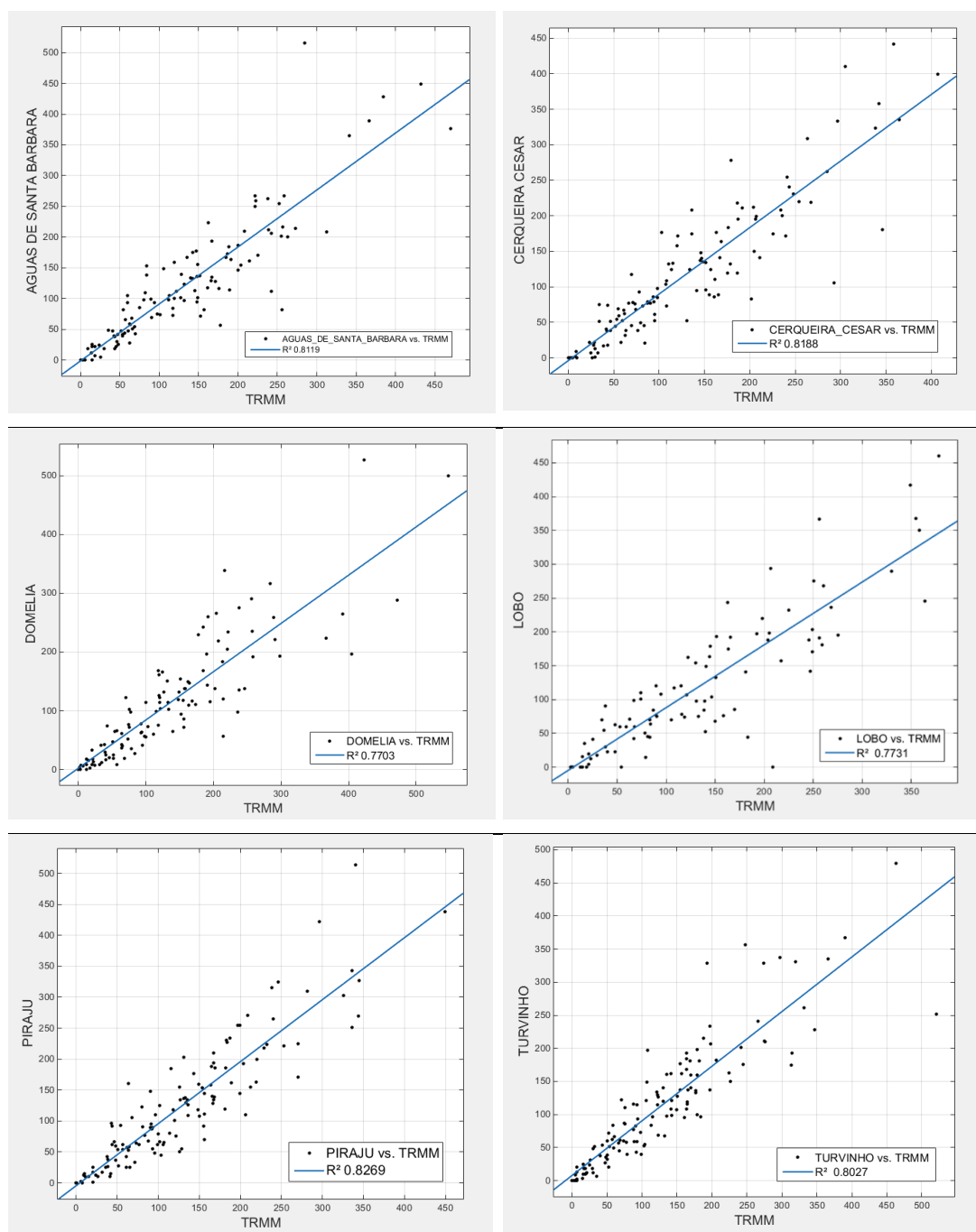
Estação	$\bar{x}$	σ	$\tilde{x}$	ρ	R^2	$D_{m,n}$	$D_{m,n,\mu}$
Águas de Santa Barbara	120,18	100,18	100,90	0,899	0,819	0,117	0,160
TRMM	131,30	97,23	119,45				
Cerqueira Cesar	118,75	96,18	92,60	0,903	0,818	0,140	0,161
TRMM	130,93	92,72	108,37				
Domélia	111,98	99,07	97,50	0,877	0,77	0,118	0,164
TRMM	133,58	105,86	119,19				
Lobo	120,90	101,1	94,10	0,898	0,775	0,130	0,179
TRMM	132,90	96,7	119,80				
Piraju	123,88	98,83	106,65	0,91	0,828	0,083	0,151
TRMM	128,22	89,21	117,07				
Turvinho	113,42	91,93	98,20	0,89	0,802	0,117	0,151
TRMM	127,69	99,74	113,47				

Unidade: mm (milímetros).

Os parâmetros obtidos para os dados oriundos das estações e do satélite TRMM apresentaram proximidade significativa, demonstrando conformidade entre os valores.

O coeficiente de correlação de Pearson (ρ) indica que entre 87% e 91% dos dados estão correlacionados linearmente o que, segundo Callegari-Jacques (2003), representa uma forte correlação. A Figura 10 apresenta a dispersão dos conjuntos de dados analisados. No eixo das abscissas (eixo horizontal), estão dispostos os dados ajustados pelo modelo de regressão, ao passo que no eixo das ordenadas (vertical) estão dispostos os dados observados nas estações meteorológicas, que representam a realidade observada.

Figura 10 – Modelo de Regressão Linear obtida pelo Método dos Mínimos Quadrados.

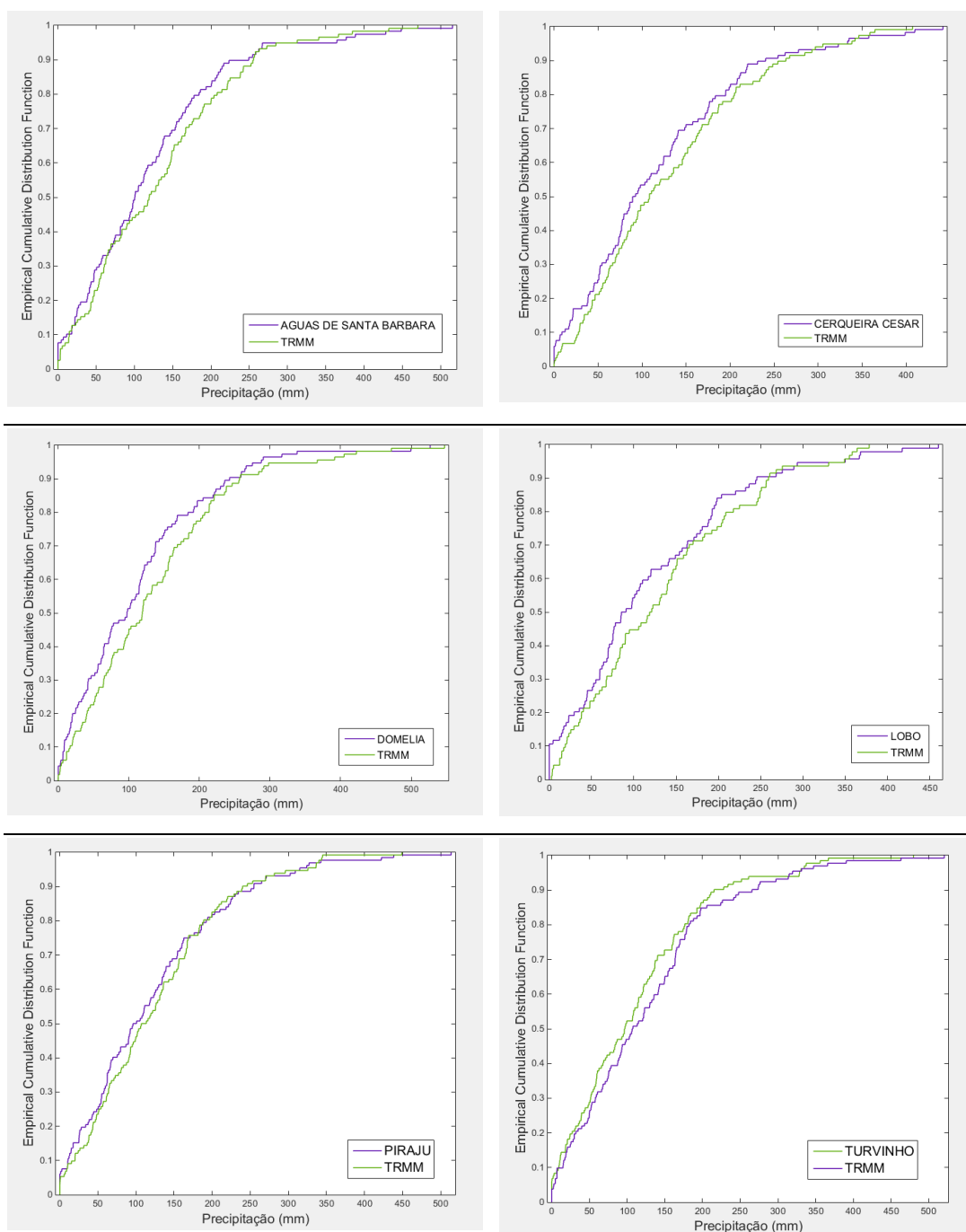


Na Figura 10 está demonstrado o comportamento dos dados coletados pelo satélite TRMM quando comparado às estações meteorológicas, seguem boa relação linear, mostrando que há baixa variação entre os dados das estações em relação aos dados do satélite, evidenciando que o satélite pode vir a ser uma alternativa a locais com baixa densidade de estações meteorológicas. A correlação entre estações automáticas e o satélite TRMM também pode ser observada em Rozante et al. (2010) e Fuzzo-Silva *et al.*

(2013). Entretanto nota-se que os valores do satélite TRMM apresentam-se superiores aos das estações de superfície, indicando que o satélite apresenta maiores valores de precipitação que realmente chegam à superfície.

As funções de distribuição de probabilidades (ECDF) dos conjuntos de dados são apresentadas na Figura 11.

Figura 11 – Funções de distribuição de probabilidades (ECDF) para os conjuntos analisados.



Nota-se, através das curvas ECDF, que os conjuntos apresentam distribuição de probabilidades de maneira semelhante, corroborando, mais uma vez, sobre a hipótese de boa correlação entre os conjuntos analisados.

O teste de Kolmogorov-Smirnov apresentou $D_{m,n} < D_{m,n,\mu}$ que, de acordo com a Equação 10, faz com que a hipótese nula H_0 (ambas as amostras vêm de uma população com a mesma distribuição) seja aceita. Assim, o trabalho traz duas alternativas de dados de precipitação que podem ser utilizados para futuras análises e trabalhos, uma vez que os dados apresentam-se distribuídos de forma similar e foram considerados compatíveis.

4.1.2 Estações climatológicas de superfície e dados do Radar meteorológico (Calheiros)

Os dados das estações climatológicas de Águas de Santa Barbara (2249029), Cerqueira Cesar (2349002), Domélia (2249105), Lobo (2248032), Piraju (2349007) e Turvinho (2249103) também foram comparados aos dados coletados pelo radar meteorológico do IPMET/UNESP para o período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014; foram calculadas as chuvas acumuladas no período pelos métodos de Calheiros e Rosenfeld para verificar a forma de cálculo que melhor se adequa aos dados da região. A Tabela 3 exibe as estatísticas descritivas e os testes e correlação entre os dados das estações climatológicas e a precipitação estimada pelo radar meteorológico utilizando o método de Calheiros. Os parâmetros média ($\bar{x}$), desvio-padrão (σ) e mediana ($\tilde{x}$) do conjunto de dados demonstram que o método de Calheiros superestima a precipitação oriundas das estações.

Tabela 3. Parâmetros estatísticos calculados para a precipitação registrada para o período em análise.

Estação	$\bar{x}$	σ	$\tilde{x}$	ρ	R ²	$D_{m,n}$	$D_{m,n,\mu}$
Águas de Santa Barbara	120,18	100,18	100,90	0,68	0,47	0,235	0,164
CALHEIROS	167,72	127,46	157,85				
Cerqueira Cesar	96,18	118,75	92,60	0,63	0,40	0,272	0,272
CALHEIROS	172,52	132,96	167,3				
Domélia	99,06	111,98	97,50	0,68	0,47	0,327	0,166
CALHEIROS	172,14	119,09	175,68				
Lobo	101,12	120,89	88,00	0,50	0,25	0,302	0,186
CALHEIROS	184,72	144,29	179,38				
Piraju	123,88	98,83	106,65	0,65	0,43	0,210	0,153
CALHEIROS	157,20	120,16	143,36				
Turvinho	113,42	91,93	98,20	0,66	0,44	0,229	0,152
CALHEIROS	158,63	124,38	146,58				

Unidade: mm (milímetros)

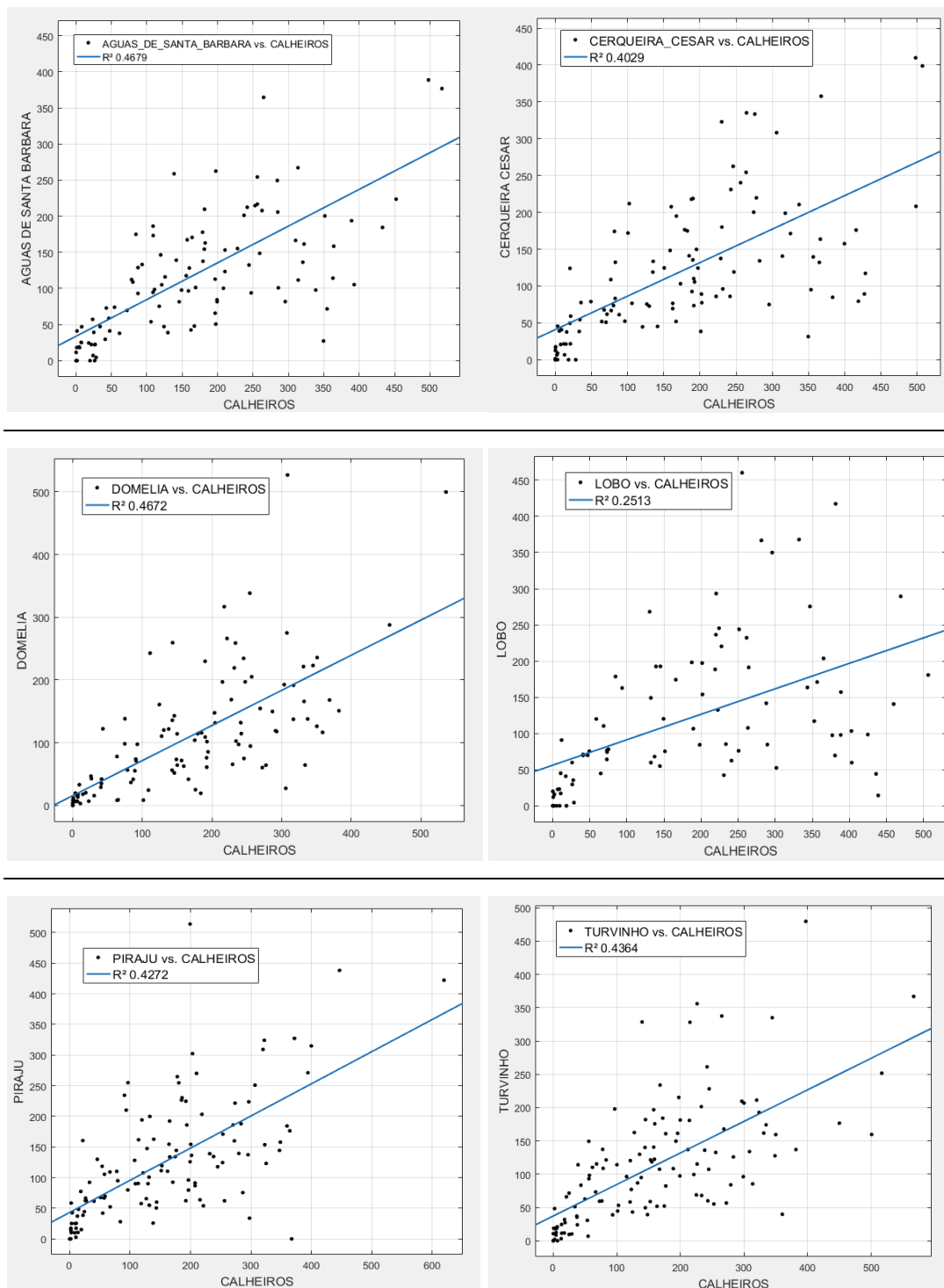
A equação de CALHEIROS gerou resultados de maiores valores de precipitação.

O coeficiente de correlação de Pearson (ρ) indica que entre 63% e 68% dos dados estão correlacionados linearmente, o que segundo (CALLEGARI-JACQUES, 2003) representa uma correlação média.

Entretanto, observa-se que a correlação é menor quando se compara a estação com o radar ao invés do satélite. Isso se dá devido a uma série de fatores, como as diferentes tipografias pluviométricas, às equações ZR, a dinâmica de coleta dos dados ao longo do raio de alcance do radar, assim como as características físicas do equipamento.

A Figura 12 apresenta a dispersão dos conjuntos de dados analisados e o modelo de regressão linear ajustado.

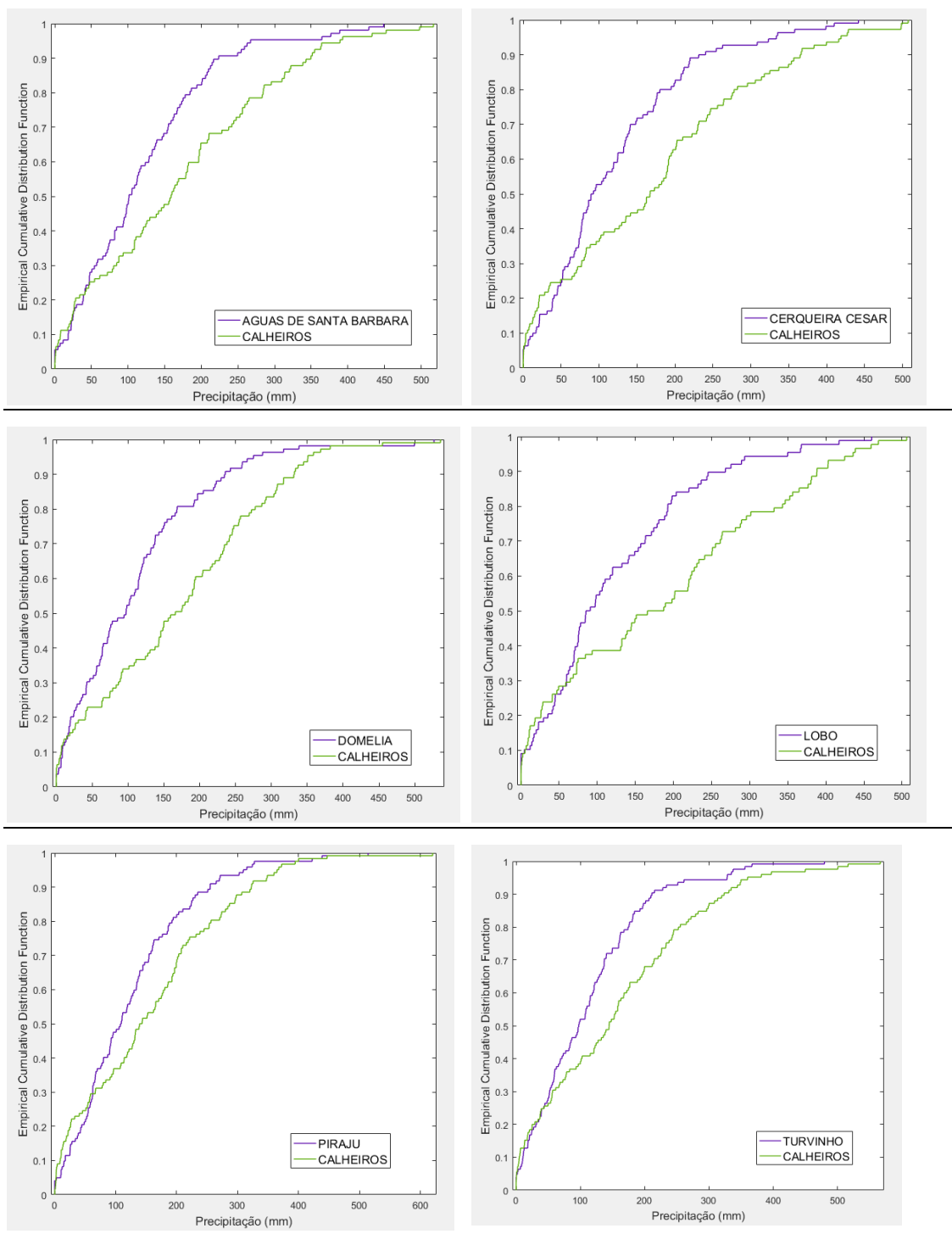
Figura 12 – Modelo de Regressão Linear obtida pelo Método dos Mínimos Quadrados.



A Figura 12 destaca maior distanciamento dos dados gerados pela equação de Calheiros em relação a reta de ajuste do modelo quando comparados às distâncias obtidas para o conjunto de dados oriundos do TRMM.

As funções de distribuição de probabilidades dos conjuntos de dados são apresentadas na Figura 13.

Figura 13- Funções de distribuição de probabilidades (ECDF) para os conjuntos analisados.



Através das curvas ECDF, os conjuntos apresentam distribuição de probabilidades de menor semelhança, corroborando sobre a hipótese de menor correlação entre os conjuntos analisados. O teste de Kolmogorov-Smirnov apresentou $D_{m,n} > D_{m,n,\mu}$ que, de acordo com a Equação 7, faz com que a hipótese H_0 seja rejeitada. Contudo, este fato não significa o não-correlacionamento dos conjuntos analisados, uma vez que o teste avalia somente a natureza dos conjuntos de dados. O resultado do teste demonstra, uma vez mais, que ainda que representem a mesma variável, as diferentes naturezas espaciais dos dados analisados interferem na hipótese H_0 , ou seja, dados de caráter local e dados de caráter espacial tendem a descrever as variáveis de maneiras distintas.

4.1.3 Estações climatológicas de superfície e dados do Radar meteorológico (Rosenfeld)

Da mesma forma que nos casos anteriores, para o método de Rosenfeld foram geradas as medidas estatísticas média ($\bar{x}$), desvio-padrão (σ), coeficiente de correlação de Pearson (ρ), coeficiente de determinação R^2 e a curva de regressão linear entre os conjuntos de dados. Foram utilizados dados das estações meteorológicas de Águas de Santa Barbara (2249029), Cerqueira Cesar (2349002), Domélia (2249105), Lobo (2248032), Piraju (2349007) e Turvinho (2249103 para o período de janeiro de 2004 a dezembro de 2014.

A Tabela 4 exhibe as estatísticas dos dados das estações meteorológicas e a precipitação estimada pelo radar meteorológico utilizando o método Rosenfeld. O método de Rosenfeld subestimou a precipitação em todas as estações de superfície. A chuva detectada pelo radar na atmosfera, pode sofrer alteração ou não chegar em superfície. O método estima através de uma soma das probabilidades para determinar a quantidade de chuva chega em superfície, baseado em chuvas com características da região de estudo (ROSENFELD, 1993).

Tabela 4. Parâmetros estatísticos calculados para a precipitação registrada para o período em análise.

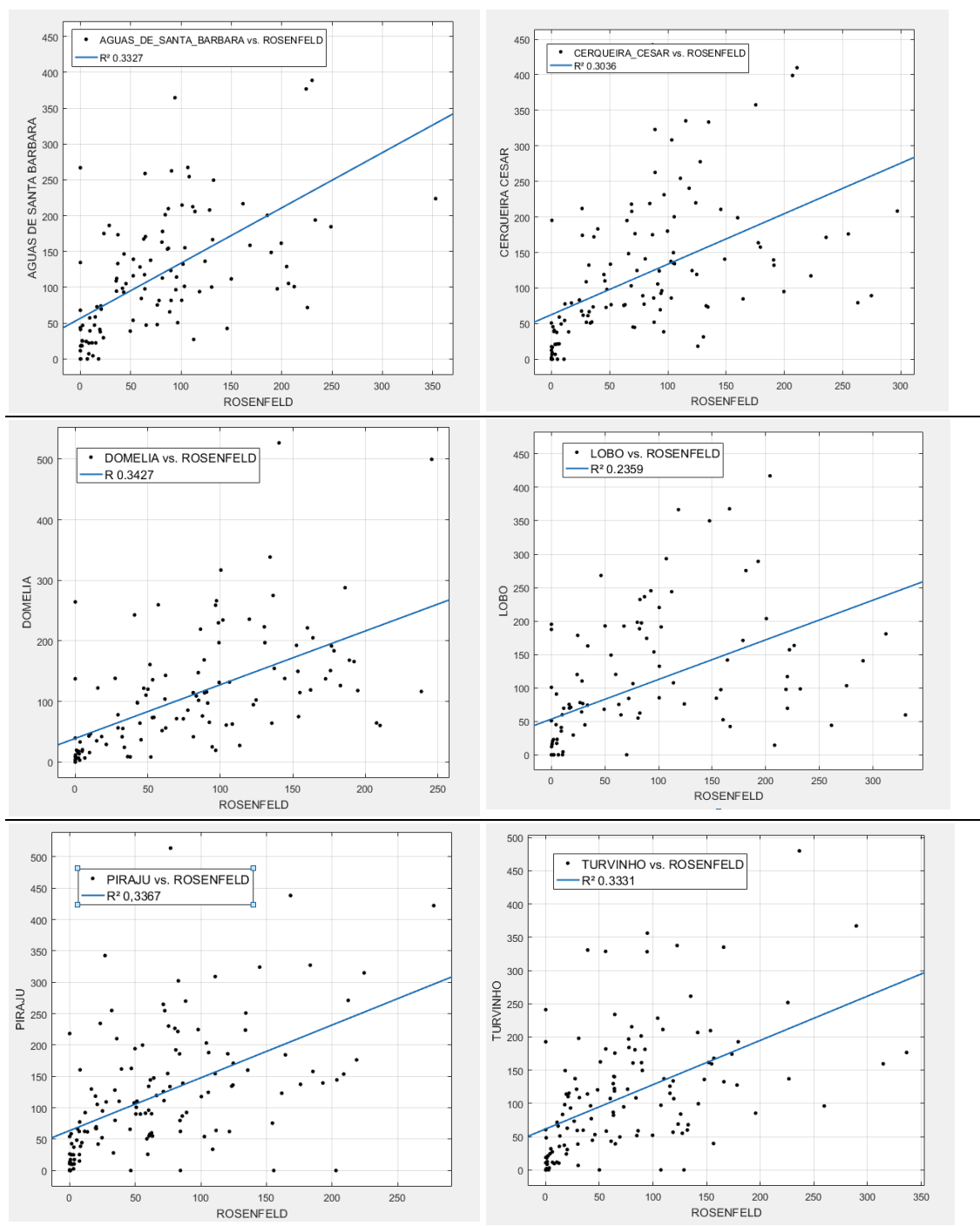
Estação	$\bar{x}$	σ	$\tilde{x}$	ρ	R ²	$D_{m,n}$	$D_{m,n,\mu}$
Águas de Santa Barbara	120,18	100,18	100,9	0,57	0,33	0,215	0,164
ROSENFELD	81,12	70,55	69,8				
Cerqueira Cesar	96,18	118,75	92,6	0,55	0,30	0,168	,168
ROSENFELD	80,20	69,26	71,41				
Domélia	99,07	111,98	97,5	0,58	0,34	0,168	0,168
ROSENFELD	82,97	63,69	81,43				
Lobo	101,12	120,89	88,00	0,37	0,23	0,197	0,186
ROSENFELD	92,44	85,26	78,12				
Piraju	123,88	98,83	106,65	0,58	0,34	0,298	0,153
ROSENFELD	70,86	61,40	60,50				
Turvinho	113,42	91,93	98,20	0,58	0,33	0,219	0,152
ROSENFELD	76,80	70,12	63,45				

Unidade: mm (milímetros)

O coeficiente de correlação de Pearson (ρ) indica que entre 37% e 58% dos dados estão correlacionados linearmente, o que segundo (CALLEGARI-JACQUES, 2003) representa uma fraca correlação.

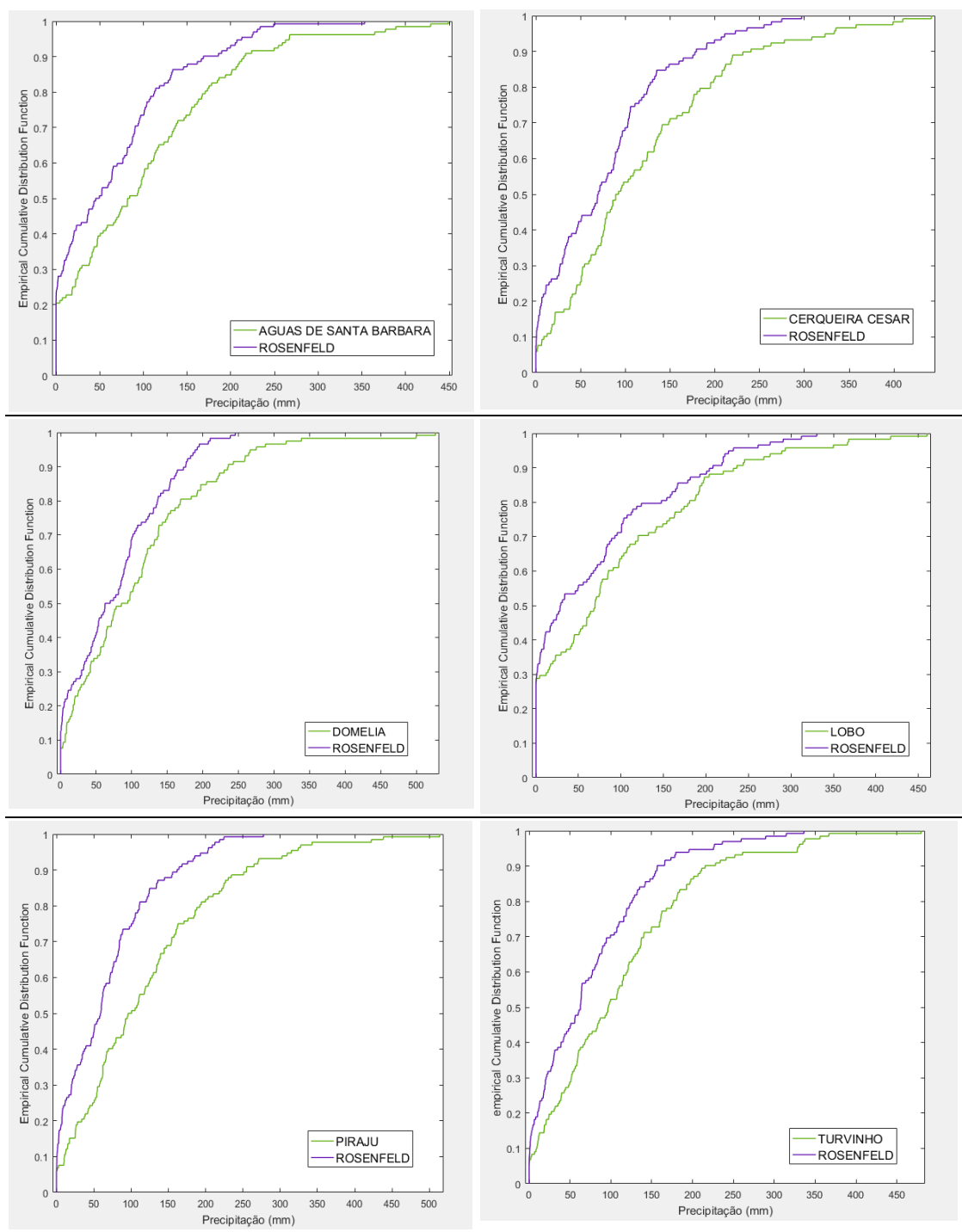
A Figura 14 apresenta a dispersão dos conjuntos de dados analisados e o modelo de regressão linear ajustado.

Figura 14 – Modelo de Regressão Linear obtida pelo Método dos Mínimos Quadrados.



As funções de distribuição de probabilidades (ECDF) dos conjuntos de dados são apresentadas na Figura 15.

Figura 15 – Funções de distribuição de probabilidades (ECDF) para os conjuntos analisados.



Nota-se, através das curvas ECDF, que os conjuntos apresentam distribuição de probabilidades com baixa semelhança, corroborando sobre a hipótese de menor correlação entre os conjuntos analisados.

O teste de Kolmogorov-Smirnov apresentou $D_{m,n} > D_{m,n,\mu}$ que, de acordo com a Equação 7, faz com que a hipótese H_0 (ambas as amostras vêm de uma população com a mesma distribuição) seja rejeitada.

A partir das análises estatística e de correlação, verificou-se que os dados oriundos do satélite TRMM apresentam melhor descrição dos dados observados nas estações meteorológicas quando comparados aos dados coletados pelo radar. Fatores meteorológicos, físicos e metodológicos do equipamento são determinantes para que haja diferenças significativas entre os conjuntos analisados e suas respectivas descrições da realidade observada em superfície.

4.2 Análises de correlação dos diferentes dados de entrada de evapotranspiração

4.2.1. Estações climatológicas de superfície e dados MODIS16

O período analisado foi de janeiro de 2010 a dezembro de 2014 nas estações de Ipaussu, Manduri, Piraju e Sarutaiá. Para cada estação foram geradas medidas estatísticas clássicas, coeficiente de correlação de Pearson (ρ), curva de regressão linear, coeficiente de determinação, função de distribuição de probabilidades e teste de Kolmogorov-Smirnov. Os parâmetros $\bar{x}$, σ do conjunto de dados oriundos das Estações e do MOD16 apresentaram proximidade significativa. A Tabela 5 exibe os resultados obtidos.

Tabela 5. Parâmetros estatísticos calculados para a evapotranspiração registrada para o período em análise.

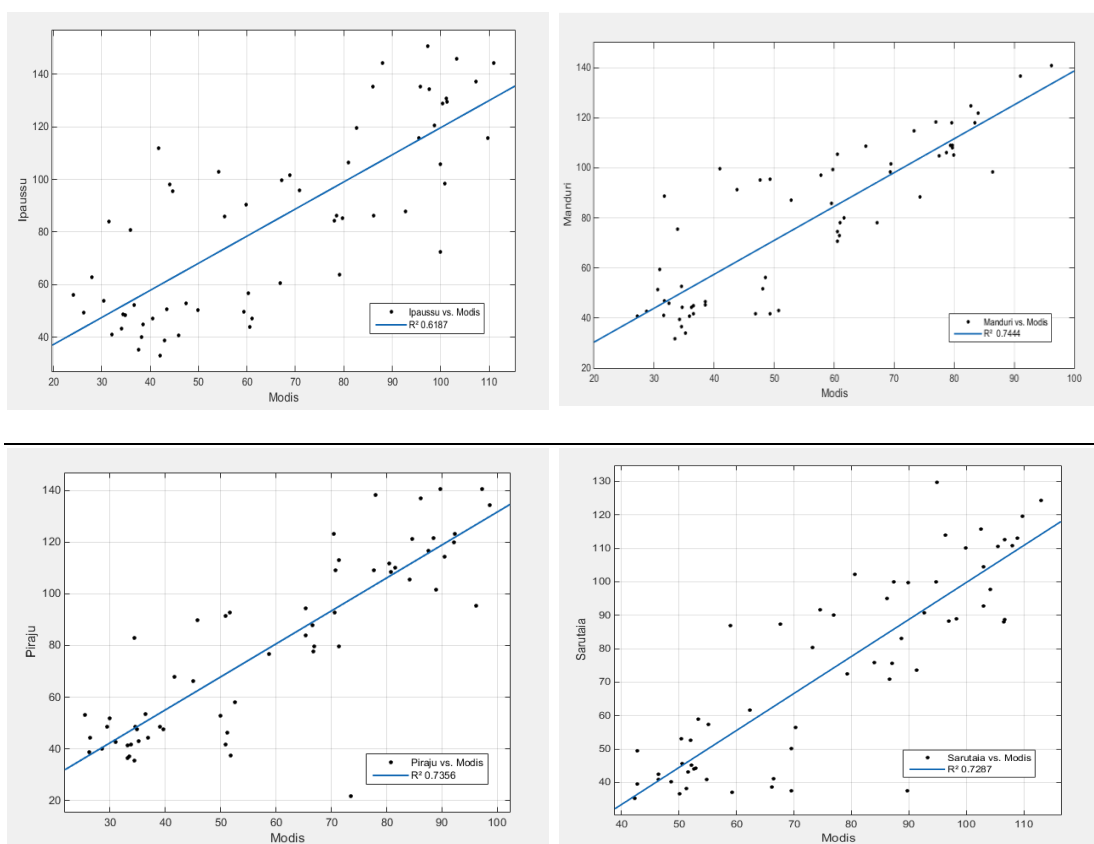
Estação	$\bar{x}$	σ	$\tilde{x}$	ρ	R ²	$D_{m,n}$	$D_{m,n,\mu}$
Ipaussu	84,32	35,34	85,64	0,786	0,618	0,266	0,222
MOD16	65,69	26,98	60,80				
Manduri	78,04	31,19	79,07	0,862	0,744	0,433	0,222
MOD16	55,05	19,71	51,8				
Piraju	79,34	34,47	79,71	0,857	0,735	0,35	0,222
MOD16	58,99	23,15	65,30				
Sarutaia	74,23	28,76	75,79	0,853	0,728	0,25	0,222
MOD16	76,89	22,24	102,50				

Unidade: mm (milímetros)

O coeficiente de correlação de Pearson (ρ) indica que entre 78% e 85% dos dados estão correlacionados linearmente, o que, segundo (CALLEGARI-JACQUES, 2003), representa uma forte correlação, demonstrando assim que o satélite torna-se uma opção para dados de evapotranspiração para locais onde há baixa densidade de estações meteorológicas.

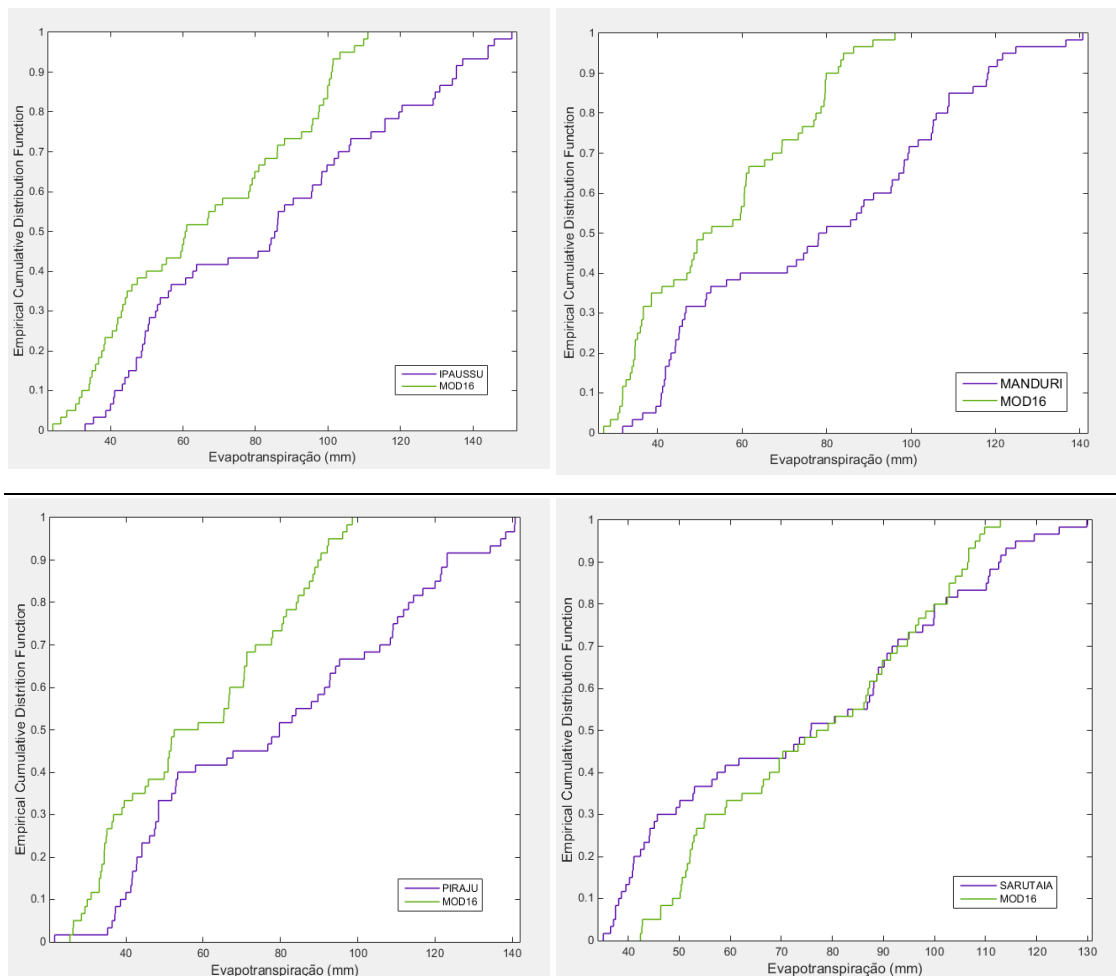
A Figura 16 apresenta a dispersão dos conjuntos de dados analisados e o modelo de regressão linear ajustado.

Figura 16 – Modelo de Regressão Linear obtida pelo Método dos Mínimos Quadrados.



As funções de distribuição de probabilidades (ECDF) dos conjuntos de dados são apresentadas na Figura 17.

Figura 17 – Funções de distribuição de probabilidades (ECDF) para os conjuntos analisados.



Através das curvas ECDF, os conjuntos apresentam distribuição de probabilidades com menor semelhança, corroborando sobre a hipótese de menor correlação entre os conjuntos analisados. O teste de Kolmogorov-Smirnov apresentou $D_{m,n} > D_{m,n,\mu}$ que, de acordo com a Equação 7, faz com que a hipótese H_0 seja rejeitada. Contudo, este fato não significa o não-correlacionamento dos conjuntos analisados, uma vez que os resultados para os coeficientes de Pearson variaram de 0,786 a 0,85 e de determinação variaram de 61% a 74%.

A partir dessas análises verifica-se que, de maneira geral, os dados obtidos por sensores ora subestimam e ora superestimam os valores registrados a campo, sendo que os satélites tendem a superestimar com maior frequência, ao passo que o radar apresenta um padrão de superestimação através da Equação de Calheiros, e subestimação através da Equação de Rosenfeld. Partindo do pressuposto que a ECA nos fornece valores

mais próximos dos reais, pode-se analisar que os produtos de satélite, seja do TRMM ou do MODIS, possuem de média a alta correlação com a estação e por isso se tornam alternativas para a obtenção de dados de precipitação e evapotranspiração. Os dados de radar, da maneira como foram processados para o trabalho atual, demonstram correlação fraca a média para os dados de precipitação não sendo a melhor alternativa para esses dados, nesse panorama. Entretanto, para fins de acompanhamento de fenômenos cuja ocorrência dá-se em menor intervalo de tempo, a resolução temporal do radar pode conter maior riqueza de informações quando comparados a resolução temporal dos satélites, uma vez que o volume de dados gerados é maior, dando melhores condições para investigações científicas. Os dados do CIIAGRO são baseados no método de Camargo (1962), que se utiliza somente temperatura e irradiância global tabelada por latitude onde apresentam valores com baixa acurácia próxima das tecnologias atuais.

4.3 Mapeamento dos componentes do balanço hídrico meteorológico

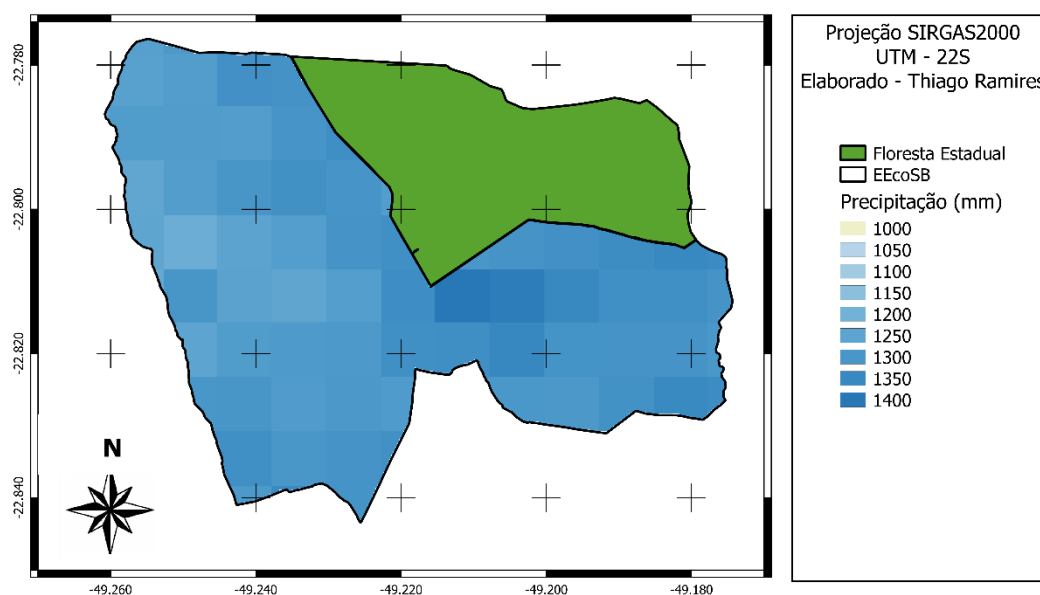
De acordo com a modelagem proposta e adaptado dos procedimentos propostos para análise residual do balanço hídrico por Healy (2010), os dados espaciais foram organizados em camada espaciais para realizar a álgebra de mapas em ambiente SIG.

Utilizando dados de diferentes instrumentos e sensores, foram criados mapas de precipitação para cada um: Precipitação ECA, Precipitação Radar utilizando relação Z-R de Calheiros, Precipitação Radar utilizando relação Z-R de Rosenfeld e Precipitação TRMM.

O mapa de precipitação de ECA, utilizou um dado para toda a área, pois há apenas uma ECA na região analisada, ficando a precipitação acumulado de 1239,48 mm.

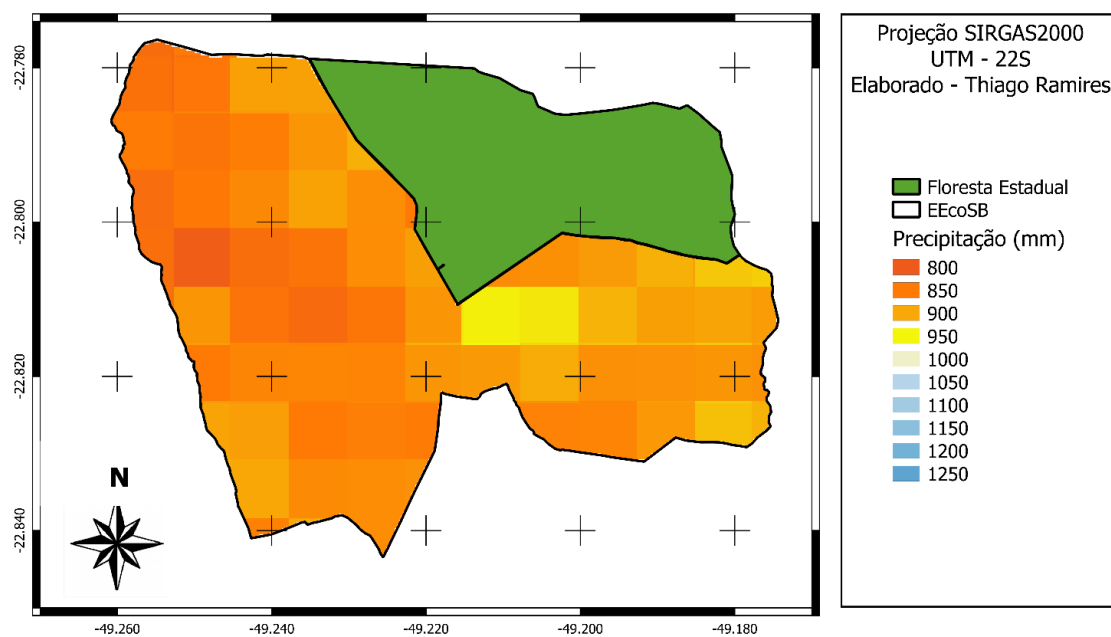
A precipitação acumulada utilizando dados de Radar com a equação proposta por Calheiros (2014-2015) teve valor médio de 1300,40 mm, mínimo de 1215,86 mm e máxima de 1398,37 mm (Figura 18).

Figura 18 – Mapa de precipitação de Radar (Calheiros) na EEcSB



O mapa de precipitação de Radar com a equação proposta por Rosenfeld (2014-2015), obteve o menor valor acumulado para o período, sendo de 806,03 mm a 951,11 mm e valor médio para área de 871,58 mm (Figura 19).

Figura 19 – Mapa de precipitação de Radar (Rosenfeld) na EEcSB



O satélite TRMM devido a sua resolução espacial, tem baixa variabilidade dos dados, sendo a mínima de 1580,41 mm e máxima de 1583,89 mm.

Assim, a Tabela 6 condensa os valores de precipitação encontrados nos mapas anteriores. Essa tabela ajuda a elucidar como a equação de Rosselfeld possui valores bem abaixo dos outros obtidos.

Tabela 6. Valores de Precipitação

Dados	Mínima	Média	Máxima	Desvio Padrão
Calheiros	1215,90	1300,40	1398,40	33,50
Rosenfeld	806,00	871,60	951,10	27,80
TRMM	1580,40	1580,70	1583,90	1,00
EEcoSB	-	1239,50	-	-

Os mapas de escoamento superficial tiveram uma variação de 5 mm a 25 mm. O mapa de escoamento superficial baseado na precipitação do TRMM e da ECA devido as suas resoluções espaciais tiveram como resultado um mapa homogêneo para toda a área.

Os mapas de escoamento superficial a partir do radar pelas equações de Calheiros (Figura 20) e Rosenfeld (Figura 21), demonstraram por sua vez diferença de valores devido a sua resolução espacial, este resultado é importante para demonstrar espacialmente o fenômeno retratado, fornecendo um dado do escoamento para a área.

Figura 20 – Mapa de Escoamento Superficial da precipitação (Calheiros) na EEcoSB

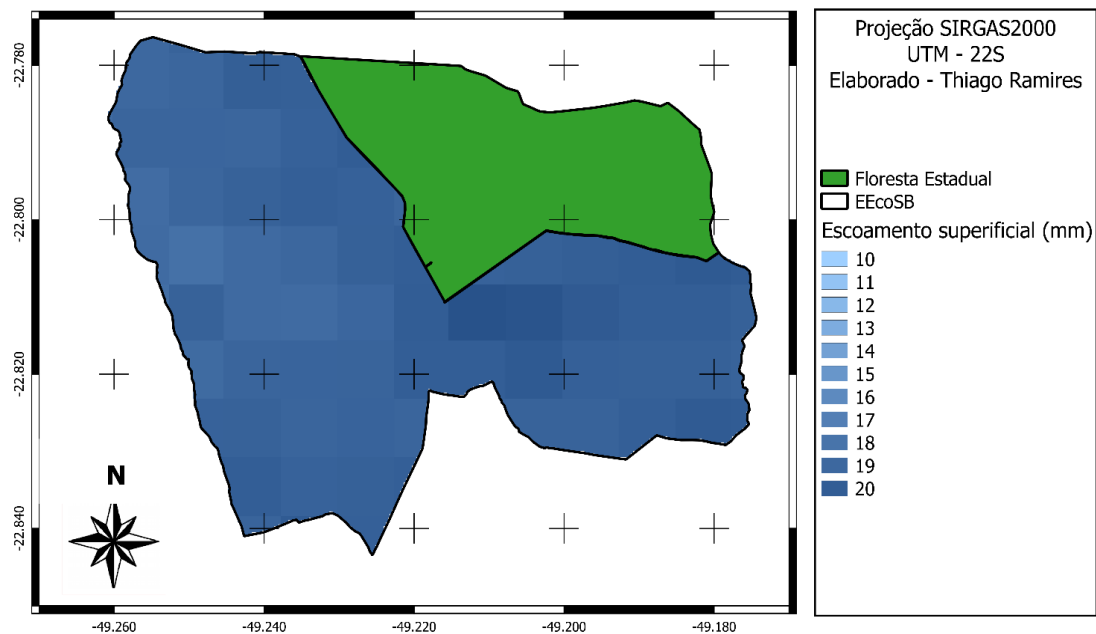
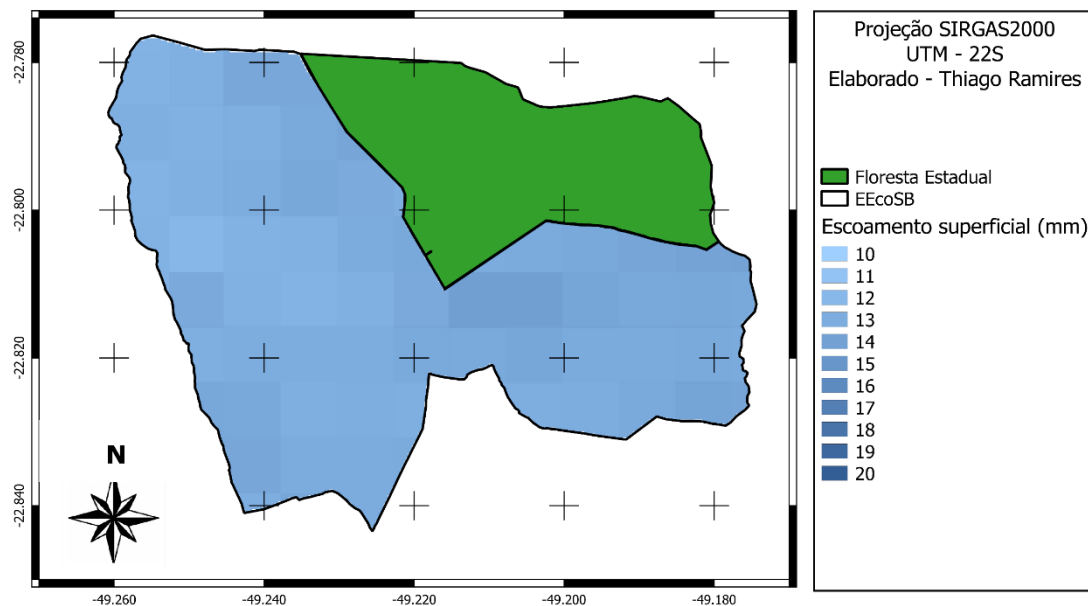


Figura 21 – Mapa de Escoamento Superficial da precipitação (Rosenfeld) na EEcoSB



Os mapas de interceptação foram gerados a partir do mapa de uso e ocupação do solo, que por sua vez, trazem um nível de detalhamento muito grande, e os dados para as multiplicações dos fatores por pixel foram extraídos dos trabalhos de Honda

(2013). A Figura 22 demonstra os dados de interceptação a partir dos dados de radar provenientes da equação de Calheiros e a Figura 23, a partir da equação de Rosenfeld.

Figura 22 – Mapa de Interceptação da precipitação (Calheiros) na EEcSB

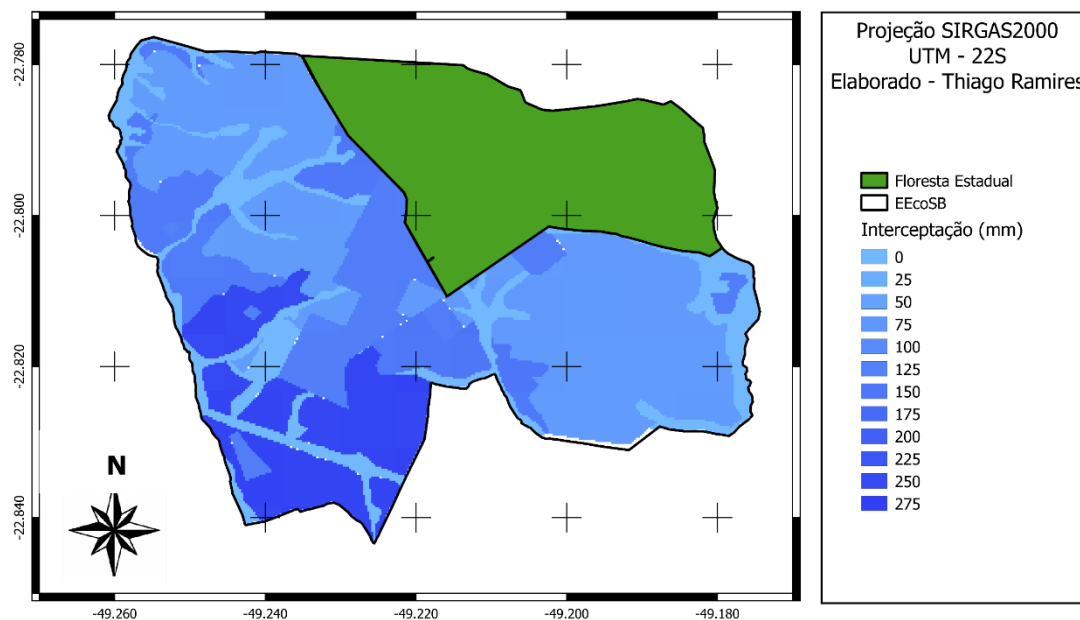
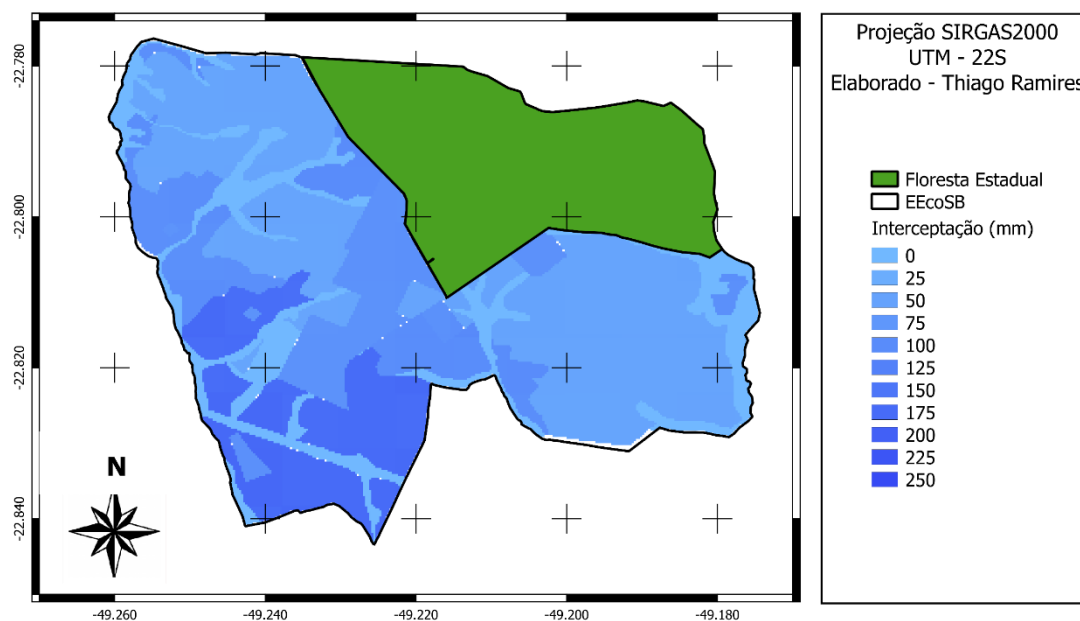


Figura 23 – Mapa de Interceptação da precipitação (Rosenfeld) na EEcSB



Os mapas de interceptação para a precipitação da ECA e do TRMM estão representados nas Figuras 24 e 25 respectivamente.

Figura 24 – Mapa de Intercepção da precipitação (ECA) na EEcSB.

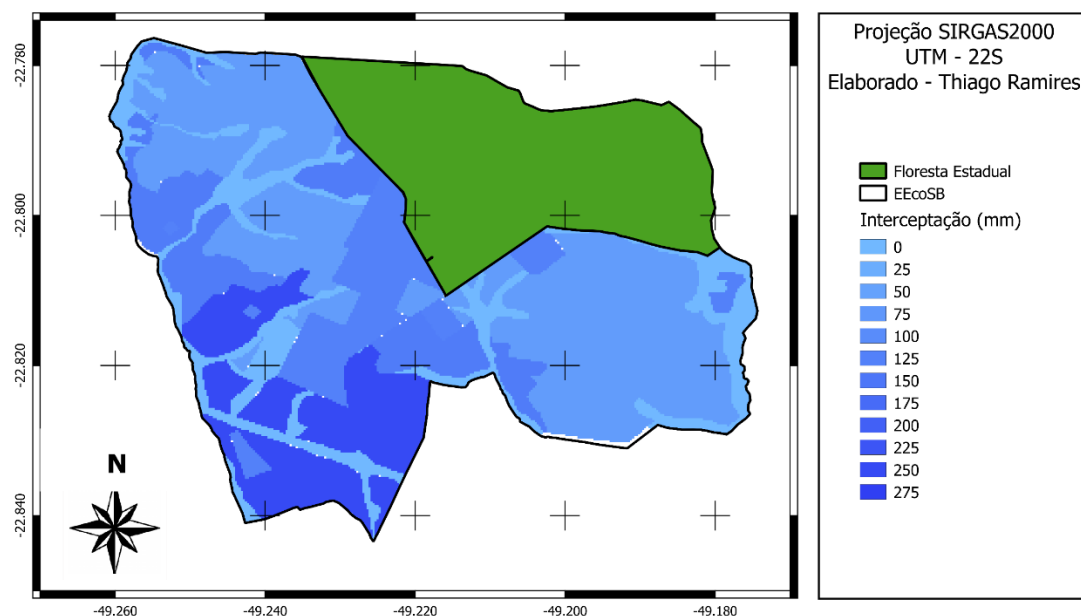
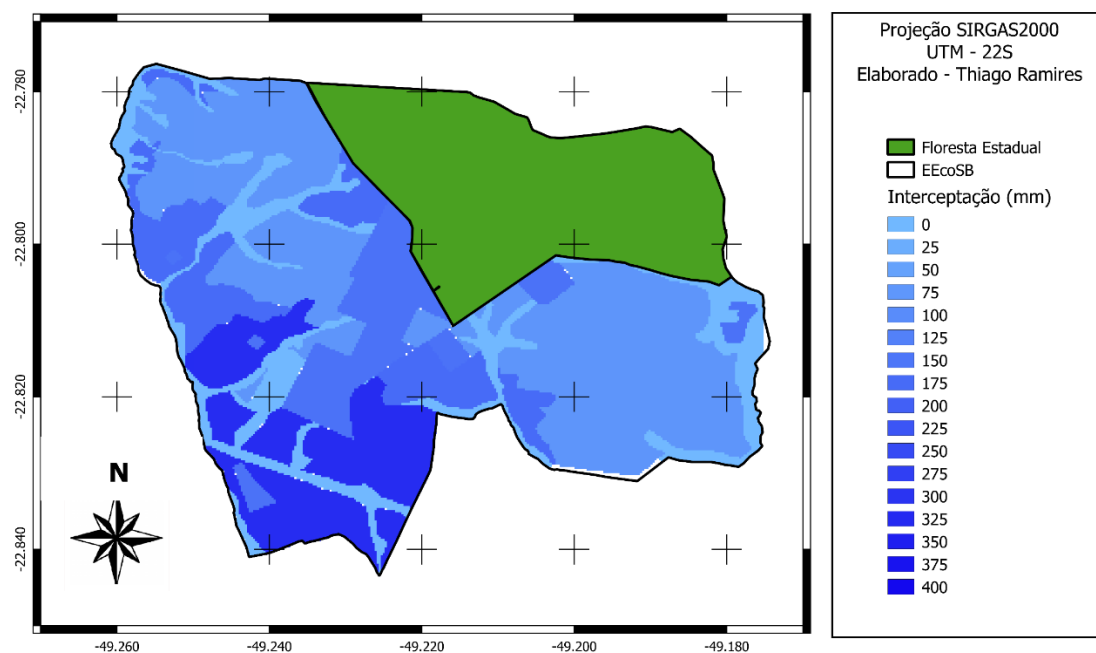


Figura 25 – Mapa de Intercepção da precipitação (TRMM) na EEcSB



O mapa de Variação do Armazenamento Subterrâneo e Evapotranspiração apresentaram apenas um valor para toda a área de 103,67mm e 763,88mm, respectivamente. Os mapas foram gerados para que seja realizada a álgebra de mapas, variação do armazenamento subterrâneo e evapotranspiração.

4.4 Estimativas do resíduo do balanço hídrico na EEcSB no ano hidrológico 2014-2015

Com os mapas anteriores foi possível estimar a recarga para o aquífero no biênio de estudo em diversos cenários. A Figura 26 demonstra a estimativa para os dados de recarga, que por sua vez é o resíduo da equação calculada, a partir da precipitação obtida na ECA. Já, a Figura 27 mostra o mesmo fenômeno a partir da precipitação obtida pelo radar, com a equação de Calheiros, enquanto a equação de Rosenfeld é demonstrada na Figura 28. Por fim, é apresentado um mapa para a estimativa da recarga a partir dos dados de precipitação a partir dos dados do TRMM (Figura 29).

Figura 26 – Mapa de Balanço Hídrico (ECA) na EEcSB no ano hidrológico 2014/15.

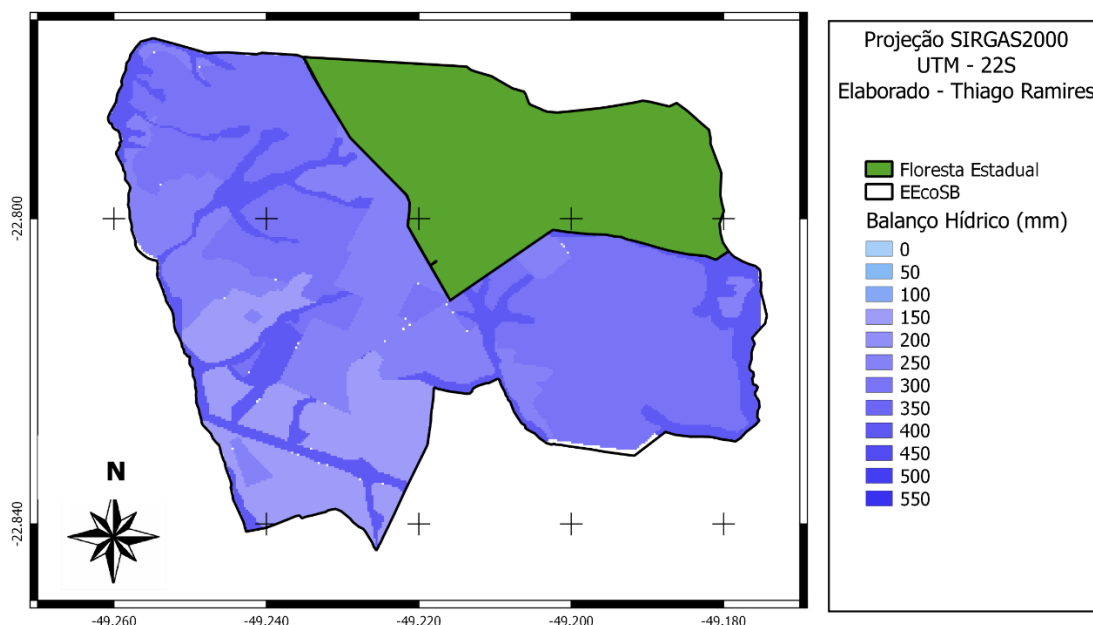


Figura 27 – Mapa de Balanço Hídrico (Calheiros) na EEcSB no ano hidrológico 2014/15.

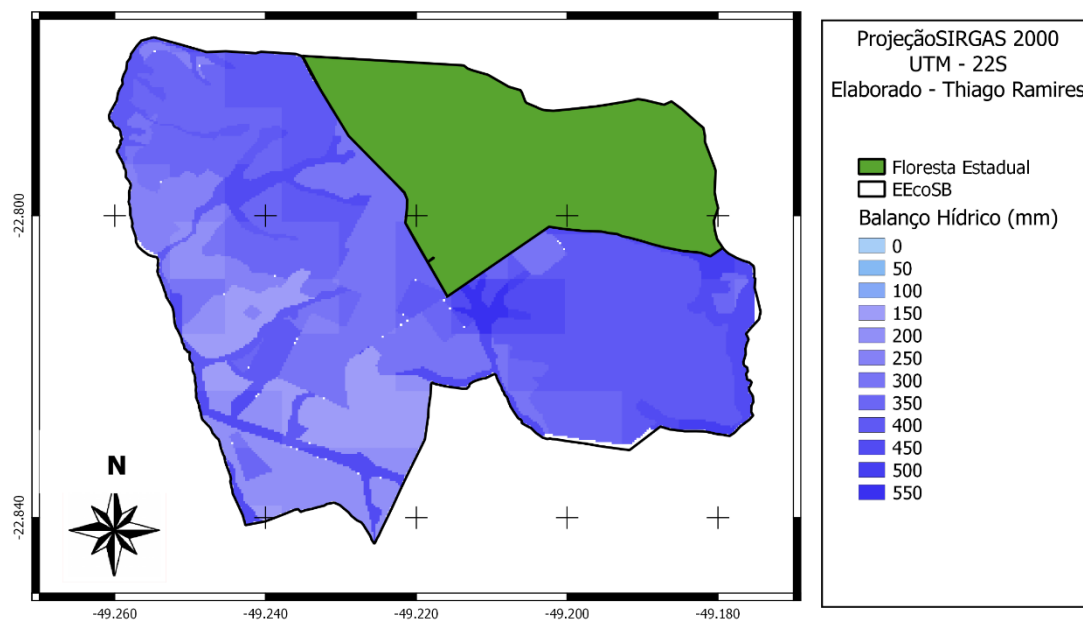


Figura 28 – Mapa de Balanço Hídrico (Rosenfeld) na EEcSB no ano hidrológico 2014/15.

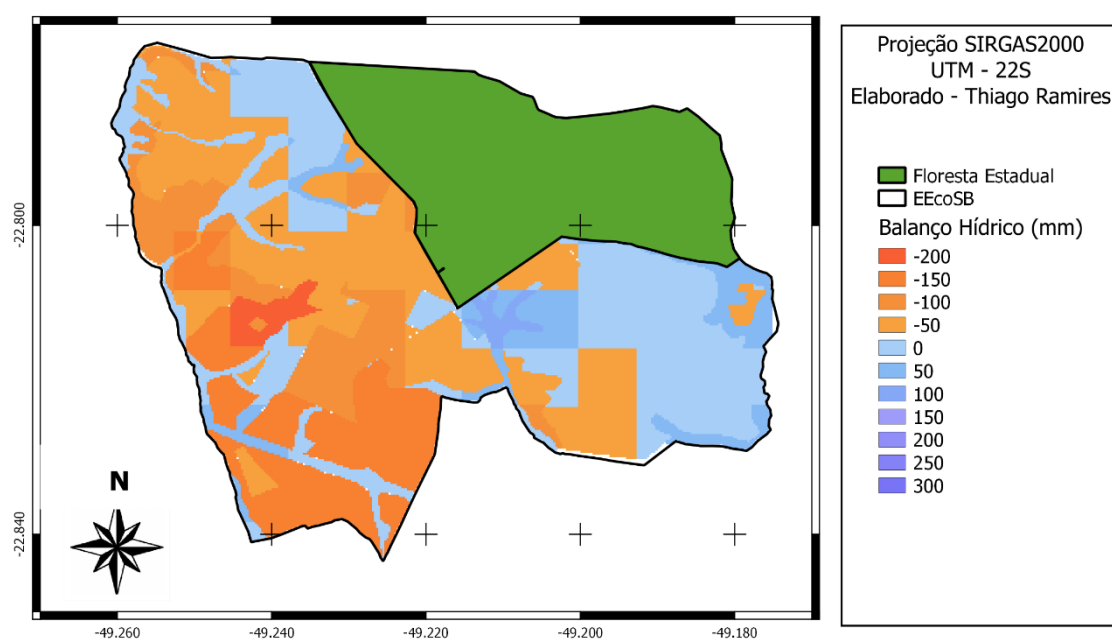
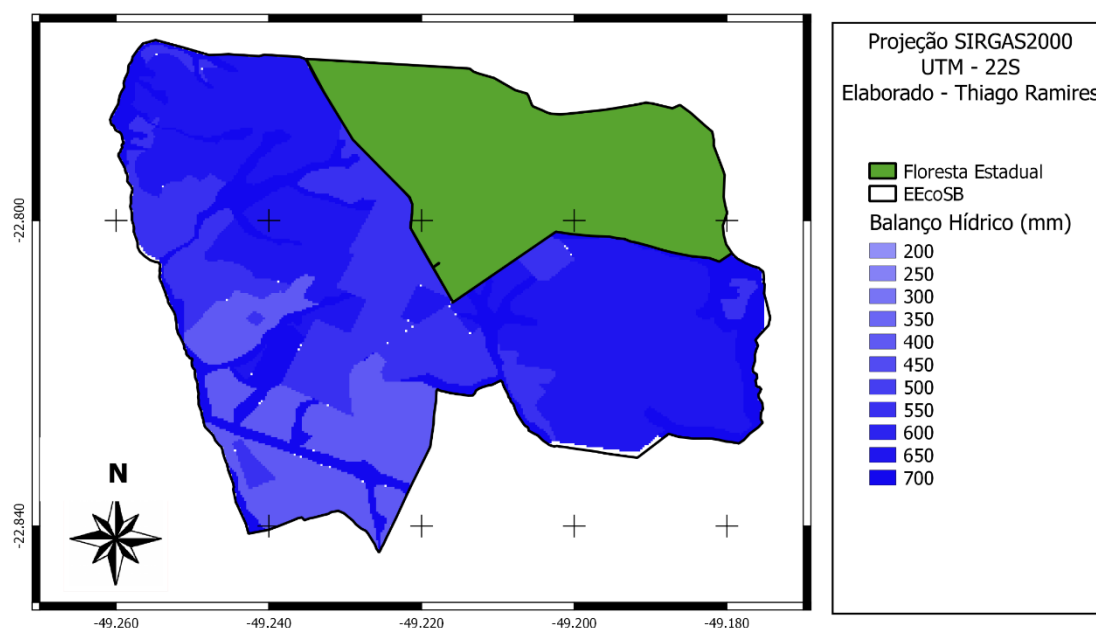


Figura 29 – Mapa de Balanço Hídrico (TRMM) na EEcSB no ano hidrológico 2014/15.



Pode-se analisar com os mapas gerados que o resíduo do balanço hídrico, aqui no trabalho considerado como recarga, fica entre -218,52 e 692,57 mm. Sendo -218,52 mm o valor mínimo encontrado utilizando os dados de precipitação de Radar (Z-R Rosenfeld) e valor máximo de 692,57 mm com os dados de TRMM.

Os valores médios de cada Balanço hídrico (Tabela 7) foram de -79,12 mm e 561,8 2mm novamente entre os dados de Radar (Z-R Rosenfeld) e TRMM. Para a EMA e Radar (Z-R Calheiros) os valores foram de 253,23 mm e 308,79mm respectivamente. Esse resultado corresponde a recarga de 20,43% da precipitação para EMA, 23,67% Z-R Calheiros, -9,21% Z-R Rosenfeld e 35,54% para TRMM.

Tabela 7. Valores de Balanço Hídrico na EEcSB no ano hidrológico 2014-2015

Dados	Mínima	Média	Máxima	Desvio Padrão
EEcSB	105,44	253,23	353,33	78,36
Calheiros	109,71	308,79	509,84	92,32
Rosenfeld	-218,52	-79,12	69,29	64,36
TRMM	373,07	561,82	692,57	100,00

Quando esses valores são comparados com os valores de precipitação obtidos, é obtido os valores da porcentagem da precipitação (Tabela 8) que se torna resíduo, ou seja, a parte da chuva que se torna recarga para o aquífero.

Tabela 8. Valores de recarga/precipitação na EECSB no ano hidrológico 2014-2015 (%)

Dados	Mínima	Média	Máxima	Desvio Padrão
ECA	8,5	20,43	28,5	6,32
Calheiros	8,81	23,67	36,45	6,82
Rosenfeld	-26,43	-9,21	7,28	7,51
TRMM	23,6	35,54	43,72	6,32

Quando os valores de precipitação e recarga obtidos na área são multiplicados pela área da estação é obtida a quantidade em m³ que precipitou e que foi armazenada em subsuperfície (Tabela 9).

Tabela 9. Valores para precipitação e recarga calculados para a EECSB no ano agrometeorológico de 2014-2015.

Dados	Precipitação média (mm)	Precipitação total na área (m ³)	Balanço Hídrico total área (m ³)	Balanço Hídrico média (mm)	Balanço Hídrico media (%)
ECA	1239,48	40.538.893,56	8.282.234,50	253,23	20,43
Calheiros	1300,40	42.531.365,73	10.099.400,51	308,79	23,67
Rosenfeld	871,58	28.506.284,84	-2.587.728,12	-79,12	-9,21
TRMM	1580,74	51.700.269,96	18.375.093,73	561,82	35,54

Quando observada a tabela 9, nota-se que os valores obtidos para o resíduo do balanço hídrico ficam entre -9% a 35%. Removendo-se os valores negativos da equação de Rosenfeld, pode-se dizer que o alcance do resíduo é de 20 a 35%, quando na literatura pode-se destacar Barreto (2005), que encontrou valores de recarga direta de 400,00 mm correspondendo em 29% da precipitação anual. Já, Gomes (2008) para a mesma área encontrou valores de recarga direta de 14 a 38%. Santos (2012) encontrou valores de 21,8 e 34,6% em relação a precipitação do ano hidrológico 2008-2009, utilizando modelagem numérica e modelagem hidrológica, respectivamente para área de cerrado. Ressaltando o fato de que resultado (resíduo) leva em consideração toda a água infiltrada, ou seja, a recarga e o fluxo subterrâneo, pode-se ressaltar o trabalho de Lucas

(2012) que encontrou valores de recarga de 7% em ano seco 2004/2005 e de 20% para período mais chuvoso 2010 -2011.

Esses valores mostram que mesmo após um ano seco como o de 2013/2014, os níveis freáticos puderam se recuperar e reabastecer o aquífero na área de estudo. A precipitação média para Águas de Santa Barbara segundo o Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI) é de 1353.7mm, a precipitação ficou abaixo da média, com exceção do TRMM, para o próximo ano hidrológico a recarga pode ocorrer uma recuperação maior do aquífero.

5 CONCLUSÕES

O presente trabalho propôs-se a avaliar produtos que auxiliem na estimativa de componentes do ciclo hidrológico para cálculo da recarga das águas subterrâneas em área de conservação.

Diferentes escalas de obtenção de dados foram estudadas, obtendo-se uma forte correlação linear entre os dados da ECA e o satélite TRMM. As curvas ECDF demonstraram que as diferentes fontes de dados se apresentam de forma semelhante quanto a sua distribuição de probabilidades. Isso elucida a utilização do RADAR, pela vantagem da alta resolução espacial, e assim esse dado se torna uma fonte de dados de qualidade. Ambas as fontes podem ser uma alternativa confiável determinados espaços geográficos, dependendo regiões onde não há estações, ou estas estações estão distantes.

Mais estudos devem ser feitos, aumentando a quantidade de dados e o período analisado para aprimorar a dinâmica encontrada no trabalho atual. Outras equações de RADAR podem ser utilizadas, ou elaboradas para consolidar resultados melhores. Para esse estudo o método de Rosenfeld não é recomendado pois subestimou a 30% a precipitação. Os dados de evapotranspiração se mostraram do MODIS se mostraram como uma alternativa a obtenção de dados com uma boa correlação com os dados de estações do CIIAGRO, além de sua resolução espacial.

O ambiente SIG mostrou-se eficiente para a análise espacial dos dados de balanço hídrico, e pode ser trabalhado futuramente com outras proposições de modelagem de balanço hídrico. Outras equações de balanço hídrico também podem ser testadas, levando em conta mais variáveis.

De maneira geral, os resultados mostraram que houve uma significativa recarga local das águas subterrâneas. A recarga estimada foi da ordem de 2545,255 mm (ECA), 215487,01354846136 mm (Calheiros) e 65718,57478 mm TRMM.

Quanto ao particionamento da recarga, os valores corresponderam a 20,43% (ECA), 23,67% (Calheiros) e 35,54% (TRMM)

Para trabalhos futuros recomenda-se analisar uma forma de fusão dos dados das estações e do satélite, criando uma complementaridade entre ambos, assim como no trabalho de Rozante et al. (2010). Tal associação poderia corrigir dados faltantes ou com problemas em suas medições.

REFERÊNCIAS

- ACKER, J. G.; LEPTOUKH, G. **Online Analysis Enhances Use of NASA Earth Science Data.** *Eos, Trans.* AGU, Vol.88 n°2. Págs. 14-17. 2007.
- ALLEN, R. G.; WALTER, I. A.; ELLIOTT, R. L.; HOWELL, T. A.; ITENFISU, D.; JENSEN, E.; SNYDER, R. L. **ASCE Standardized Reference Evapotranspiration Equation.** Task Committee on Standardization of Reference Evapotranspiration – Environmental and Water Resources Institute of the American Society of Civil Engineers, 2005.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **HidroWeb:** sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb>>. Acesso em: 15 fevereiro 2015.
- ANTONIO, C. A. A. **Geoestatística aplicada à acumulação da precipitação pluviométrica com radar meteorológico,** Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp - Campus de Botucatu, 2007.
- ARONOFF, S. **Geographical information systems:** a management perspective. Ottawa: WDI Publications, 1989.
- BARRETO, C. E. A. G. **Balanço hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero guarani a partir do monitoramento hidrogeológico,** Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2005.
- BASSAN, J. M. **avaliação da chuva produzida pelo modelo ETA de previsão do tempo para o estado de São Paulo com uso de radar meteorológico para aplicações agrícolas,** Tese de Doutorado, Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp - Campus de Botucatu, 2014.
- BIELENSKI JÚNIOR, C.; BARBASSA, A. P. **Geoprocessamento e Recursos Hídricos:** Aplicações práticas. São Carlos: EDUFSCAR, 2012.
- CALLEGARI-JACQUES, S. M. **Bioestatística: princípios e aplicações.** Porto Alegre: Artemed, 2003.
- CALHEIROS, R. V. **Resolução espacial de estimativas de precipitação com radar hidrometeorológico.** Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.
- CALHEIROS, R. V. ZAWADZKI, I. Reflectivity-rain rate relationships for radar hydrology in Brazil. **Journal of Climate and Applied Meteorology**, Boston, v. 26, p. 118-132, 1987.

- CALVETTI, L.; BENETI, C.; PEREIRA FILHO, A. J.; CASTANHARO G.; STRINGARI D. **Estimativas de precipitação em bacias hidrográficas utilizando pluviômetros, radar e satélite**. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis SC, 2006.
- CAMARGO, A. P. **Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo**. Bragantia, Campinas 21(12):163-213, 1962.
- CÂMARA, G. **Sistema de Informação Geográfica para Aplicações Ambientais e Cadastrais: uma visão geral**. [http:// www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/analise.pdf](http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/analise.pdf), 11.06.2004
- CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001.
- CLEUGH, H. A.; LEUNING, R.; MU, Q. Z.; RUNNING, S. W. **Regional evaporation estimates from flux tower and MODIS satellite data**. Remote Sensing of Environment, v. 106, 2007.
- CONTIN, N. D. **Balanço Hídrico em Bacia Hidrográfica situada em região de recarga do Aquífero Botucatu**. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1987.
- DIXON, M.; WIENER, G. **TITAN: Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis & Nowcasting - A radar-based methodology**, J. Atmos. Oceanic Technol., 10, 1993, p.785-797.
- MELO A. C. G.; DURIGAN, G.; **Plano de manejo da Estação Ecológica de Santa Bárbara**. São Paulo: Instituto Florestal, 2011
- FEITOSA F. A. C.; MANOEL FILHO, J. (Org). **Hidrogeologia: Conceitos e aplicações**. Fortaleza, CPRM/REFO, LABHID-UFPE, 2000.
- FUZZO-SILVA, D. F.; PRELA, A.; CAMARGO, M. B. P. Análise de dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o vale do Médio Paranapanema SP. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 21, p.138-147, 2013.
- GODDARD EARTH SCIENCES DATA AND INFORMATION SERVICES CENTER (GES DISC), disponível em: <http://disc.gsfc.nasa.gov/precipitation/tovas>, Acesso em 2015.
- GOMES, A. M. **Tópicos em Meteorologia com Radar**. Bauru: Ipmet, 1993.
- HEALY, R. W.; COOK, P. G., **Using groundwater levels to estimate recharge**. Hydrogeology Journal, Vol. 10, pag. 91-109, 2002.

- HEALY, R. W. **Estimating groundwater recharge**. Cambridge: Cambridge University Press, 2010. 245p.
- HELD, G.; RAMIRES, T.; POMMEREAU, J-P.; GOMES A. M.; RIVIÈRE, E. **Comparison of Radar-Echo Tops in the State of São Paulo with Cloud Tops Observed by CALIOP onboard the CALIPSO Satellite**. XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Gramado/RS, 2012.
- HUETE, A.; DIDAN, K.; MIURA, T. RODRIGUEZ, E. P.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. **Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices**. Remote Sensing of Environment, v. 83, p. 195-213, 2002.
- HONDA, E. A. **Repartição da água da chuva sob o dossel e umidade do solo no gradiente fisionômico da vegetação do Cerrado**. Tese de doutorado, (USP) São Carlos, 2013.
- IPT (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo). **Mapa geológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, 1981. Escala 1:500,000.
- IRITANI, M. A.; EZAKI, S. **As águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. São Paulo: Secretaria do Estado do Meio Ambiente – SMA, 2012. 104p.
- LIMA, J.E.F.W., 2010. **Modelagem numérica do fluxo da água no solo e do escoamento de base em uma bacia experimental em área agrícola no Cerrado**. Tese de Doutorado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 312p.
- LIMA, W. P.; NICOLIELO, N.; **Precipitação efetiva e interceptação em florestas de pinheiros tropicais e em reserva de cerradão**, IPEF, n.24, 1983.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres// Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. Tradução de J. C. N. Epiphanyo. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009.
- KOKITSU, J. M, **Transferência de tecnologias para aplicação direta ao monitoramento e nowcasting usando os radares meteorológicos Doppler do IPMet-UNESP**. Relatório técnico, 2005.
- MANZIONE, R. L.; TANIKAWA, D. H.; SOLDERA, B. C.; **Relação entre a resposta espectral da vegetação em diferentes cultivos agrícolas e níveis freáticos em área de recarga do Sistema Aquífero Guarani, Águas Subterrâneas**, v. 28, p.1-13, 2014
- MARTINEZ, V. M.; **Sistema baseado em regras fuzzy do tipo Takagi Sugeno aplicado a ecos de radares meteorológicos**. Dissertação de Mestrado, Sorocaba, 2016.

- MORAES, E. C.; OLIVEIRA, G.; **Utilização de dados MOD16 para análise da evapotranspiração em remanescentes florestais da Mata Atlântica no estado de São Paulo entre 2000 e 2010**, acesso em 2015.
- MOURÃO, M. A. A.; FRANZINE, A. S.; (Org.) **Sistema Aquífero Bauru-Caiuá nos Estados de São Paulo, Mato Grosso do Sul e Paraná. Bacia do Paraná** (relatório diagnóstico). Vol. 14. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. – Serviço Geológico do Brasil, 2012.
- MU, Q.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W. Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 8, p. 1781-1800, 2011.
- NICHOLSON, S. E.; SOME B.; MCCOLLUM, J.; NELKIN, E.; KLOTTER, D.; BERTE, Y.; DIALLO, B. M.; GAYE, I.; KPABEBA, G.; NDIAYE, O. N.; NOUKPOZOUNKOU J, N.; TANU, M. M.; THIAM, A.; TOURE, A. A.; TRAORENICHOLSON, A. K.; Validation of TRMM and Other Rainfall Estimates with a High: Density Gauge Dataset for West Africa. Part II: Validation of TRMM Rainfall Products. **Journal of applied Meteorology**, 2003.
- NÓBREGA, R. S.; SOUZA, E. P.; GALVÍNCIO, J. D.; Análise da estimativa de precipitação do TRMM em uma sub-bacia da Amazônia Ocidental, **Revista de Geografia**. Recife, v. 25, 2008.
- PEREIRA, G.; SILVA, M. E. S.; MORAES, E. C.; CARDOZO, F. S. Análise dos dados de precipitação estimados pelo satélite TRMM para o Brasil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.18, n.3, Jul-Set, 2013.
- ROSENFELD, D.; WOLFF, D. B.; ATLAS, D. General probability-matched relations between radar reflectivity and rain rate. **Journal of applied meteorology**, v. 32, n 1, p. 50-72, 1993.
- ROZANTE, J. R.; MOREIRA, D. S.; GONÇALVES, L. G. G.; VILA, D. A. **Combining TRMM and Surface Observations of Precipitation: Technique and Validation over South America**. American Meteorological Society. 2010.
- SANTOS M. M.; CHANG M. R. C.; KIANG C. H. **Geotecnologia aplicada na avaliação do uso das águas subterrâneas em municípios da porção centro-oeste do estado de são paulo**, VII Feira Nacional da Água. XVIII Encontro Nacional de Perfuradores de Poços. XVII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. 2012.
- SANTOS, R. M.; **recarga de águas subterrâneas em ambiente de cerrado: estudo com base em modelagem numérica e simulação hidrológica em uma bacia**

- experimental.** 2012. Tese Doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília, Brasília, 2012.
- SARAIVA, E. A. **Detecção de incêndios florestais e queimadas com radar meteorológico**, Tese de doutorado, Universidade Federal do Paraná, 2011.
- SAUSEN, T. **Sensoriamento remoto: Tópicos em Meio Ambiente e Ciências Atmosféricas**, INPE. 2005.
- SCANLON, B. R.; HEALY, R. W.; COOK, P. G. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. **Hydrogeology Journal**, v. 10, p. 18-39, 2002.
- SILVA, F. P.; CHANG, H. K.; CAETANO-CHANG, M. R. Hidroestratigrafia do Grupo Bauru (K) no Estado de São Paulo. **Águas Subterrâneas**, v. 19, n 2, p.19-36, 2005.
- SILVA, R. C. F.; MANZIONE, R. L. Aplicação do modelo HARTT no estudo das oscilações dos níveis freáticos do Sistema Aquífero Bauru (SAB) sob vegetação de Cerrado. **Águas Subterrâneas**, v. 30, p. 362-374, 2016.
- SHIMABUKURO Y. E.; RUDORFF B. F. T. **Dados do sensor MODIS para o mapeamento e monitoramento da cobertura vegetal e uso da terra**, Anais 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, 2006.
- SOARES, J. V.; BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Histórico e descrição. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (org.) **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: A. Silva Vieira Editora, 2007.
- SOUZA, B. O.; **Estimativa da demanda hídrica potencial na irrigação por pivô central na bacia do rio Urucuia utilizando índice de vegetação NDVI**, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Lavras, 2016.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, v.38, p.5 5-94, 1948.
- THORNTHWAITE, C.W.; MATHER, J.R. **The water balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 1955. 104p. (Publications in Climatology, vol. VIII, n.1)
- TUBELIS, A. **Conhecimentos práticos sobre Clima e irrigação**. Viçosa. Ed. Aprenda Fácil, 2001. 114 p.
- TUCCI, C. E. M.; SILVEIRA A. L. L.; **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, 4º Ed. UFRGD/ABRH, 2007.

- TUCCI, C. E. M.; **Modelos hidrológicos**. Porto Alegre, 2ª Ed. Universidade UFRGS, 1998.
- TRIOLA, M. F. **Introdução a Estatística**, 10ª Edição, Editora LTC, Rio de Janeiro, 2008.
- VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2. Recife, 2006.
- VOLPATO, M. M. L.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C.; Geotecnologias aplicadas à agrometeorologia, **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.29, p.61-70, 2008.
- WILKS, Daniel S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. Academic press, 2011.
- ZHAO, M.; HEINSCH, F. A.; NEMANI, R. R.; RUNNING, A. W. Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. **Remote Sensing of Environment**, v 95 p. 164-176, 2005