

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS LONDRINA  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

**JÉSSYCA LETICIA DA SILVA**

**CURVA DE RECESSÃO PARA O CÁLCULO DA RESERVA  
REGULADORA NA ZONA DE AFLORAMENTO DO SISTEMA  
AQUIFERO GUARANI (SAG) NO ESTADO DE SÃO PAULO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**LONDRINA  
2014**

JÉSSYCA LETICIA DA SILVA

**CURVA DE RECESSÃO PARA O CÁLCULO DA RESERVA  
REGULADORA NA ZONA DE AFLORAMENTO DO SISTEMA  
AQUIFERO GUARANI (SAG) NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado a disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Câmpus Londrina, como requisito parcial para obtenção de título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Moreira dos Santos

LONDRINA  
2014



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Londrina  
Coordenação de Engenharia Ambiental



## TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Curva de recessão para o cálculo da reserva reguladora na zona de afloramento  
do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no Estado de São Paulo

por

Jéssyca Leticia da Silva

Monografia apresentada no dia 16 de dezembro de 2014 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho \_\_\_\_\_  
(aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Prof.Dra. Joseane Débora Peruço Theodoro  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Mauricio Moreira dos Santos  
(UTFPR)  
Orientador

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

Para meus pais Rosana e Arnaldo, a minha irmã Bárbara e ao meu namorado André.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente agradeço a Deus que me deu o dom da vida, e por me direcionar aos caminhos corretos, sempre com a certeza de que ele estará ao meu lado em todos os momentos.

Agradeço aos meus pais, que estiveram junto a mim, me dando todo o apoio e incentivo necessário nas horas de angustia e desespero durante esta caminhada acadêmica. Obrigada por todo carinho e compreensão.

A minha irmã Bárbara Silva por me ajudar nas tarefas de casa enquanto eu estava me dedicando aos estudos.

Ao meu namorado André Lenzi que esteve comigo em tantos momentos difíceis nesta fase e sempre esteve ao meu lado me apoiando e incentivando com toda a sua paciência e seu amor.

Um agradecimento especial ao meu orientador Dr. Maurício Moreira dos Santos, pela paciência, tempo dedicado, pelo carinho e pelo compartilhamento de seu conhecimento e suas experiências para a execução do estudo e a elaboração deste trabalho.

Aos amigos que estiveram comigo durante esses anos, presentes nos momentos felizes e nos de tristeza também, e que fizeram a minha vida acadêmica valer a pena. Sentirei falta de vários dias e tenho na memória muitos momentos que passamos juntos.

A todo corpo docente pelo conhecimento passado e por eu ter me tornado essa pessoa mais madura e pronta para a vida profissional.

Por fim agradeço a todos que de certa forma contribuíram um pouquinho, mesmo que direta ou indiretamente para que essa etapa fosse concluída, obrigada.

“Só percebemos o valor da água depois que a fonte seca”

(Provérbio Chinês)

## RESUMO

SILVA, Jéssyca Leticia. **Curva de recessão para o cálculo da reserva reguladora na zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no estado de São Paulo.** 2014. 52f. trabalho de conclusão de curso (graduação em engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

Nos dias de hoje, assuntos relacionados à água estão sendo cada vez mais abordados, pois é preciso ter cuidado com o seu uso. Sendo assim, vários estudos estão sendo feitos para avaliar as reservas hídricas, e muitos desses estudos têm como foco avaliar as reservas de água subterrânea. Essas águas estão em constante exploração e muitas vezes de forma negligente, o que pode causar danos às reservas. Nesse contexto, o presente trabalho teve como foco o estudo e a avaliação da reserva subterrânea do Sistema Aquífero Guarani (SAG) no estado de São Paulo, através do método de curva de recessão aplicado nas bacias estudadas na região de afloramento do aquífero, verificando a influência da precipitação em sua recarga e o valor da reserva reguladora do mesmo. Foram levantados e utilizados dados de pluviometria e fluviometria de anos com momento hídrico crítico e de excedente hídrico para as bacias de afloramento do SAG. Os resultados comprovam que a precipitação influencia diretamente na restituição de um rio e também sua reserva reguladora, uma vez que em anos de excedente hídrico os resultados foram maiores que em anos de criticidade hídrica. Sendo assim verifica-se a necessidade de usar a água de forma cada vez mais sustentável, para que não seja esgotada ou prejudicada.

**Palavras-chave:** Sistema Aquífero Guarani (SAG). Curva de Recessão. Restituição. Reserva Reguladora.

## ABSTRACT

SILVA, Jéssyca Leticia. **Curve of recession to calculate regulatory reserve at outcrop zone in Guarani Aquifer System (GAS) at São Paulo state.** 2014. 52f. Conclusion of course work (Environmental Engineering undergraduate program) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2014.

Nowadays, issues related to water are being more and more addressed, because it is necessary to be careful with its use. Thus, several studies have been done to assess water reserves, and many of these studies have focused on evaluating groundwater reserves. These waters have been constantly explored and often in a negligent way, which can cause damage to reserves. In this context, the present work has focused on the study and evaluation of Guarani Aquifer System (GAS) groundwater reserve, in São Paulo state, utilising the recession curve method applied to the basins in study at the upwelling region of the aquifer, verifying the influence of precipitation on its recharge and the value for its regulatory reserve. Pluviometric and fluviometric data were collected and used for years with critical hydric moment and hydric surplus for GAS upwelling basins. The results prove that precipitation directly influences on the restitution of rivers and their regulatory reserves, since for years with hydric surplus results were higher than for years of hydric criticality. Therefore, it is necessary to use water more and more sustainably, so it is not exhausted or impaired.

**Keywords:** Guarani Aquifer System (GAS). Recession Curve. Restitution. Regulatory Reserve.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo Hidrológico e seus componentes. ....	16
Figura 2 – Classificação dos Aquíferos de acordo com a porosidade.....	19
Figura 3 – Aquífero livre e Aquífero confinado.....	20
Figura 4: Localização do Aquífero Guarani .....	21
Figura 5 - Delimitação da área de estudo e os municípios inseridos na área de estudo do SAG no Estado de São Paulo.....	25
Figura 6: Mapa de localiza das estações fluviométricas selecionadas. Em destaque a zona de afloramento das formações geológicas do SAG (zona de recarga aquífera) e os municípios inseridos na área de domínio do SAG no estado de São Paulo. ....	27
Figura 7 – Passo 1: escolha da rede de dados para consulta.....	29
Figura 8 – Passo 2: escolha do tipo de dados em relação ao tipo de pesquisa	29
Figura 9 – Passo 3: visualização dos dados obtidos e opção de download para toda a série histórica. ....	30
Figura 10: Exemplo de gráfico de barra de precipitação média diária. ....	31
Figura 11: Exemplo de curva de recessão.....	32
Figura 12 – Precipitação na Bacia do Ribeirão do Rancho queimado em 1995.	36
Figura 13 – Vazão diária evidenciando a curva de recessão.....	36
Figura 14 - Precipitação na Bacia de Corumbataí em 1988. ....	37
Figura 15 – Vazão diária evidenciando a curva de recessão.....	38
Figura 16: Distribuição espacial da vazão mínima ( $Q_{7,10}$ ), segundo os níveis de disponibilidade por UGRHI.....	39
Figura 17: Gráfico de restituição em anos de excedente hídrico para as bacias estudadas.....	42
Figura 18: Gráfico de restituição em anos de criticidade hídrica para as bacias estudadas.....	43
Figura 19: Volume calculado de cada bacia estudada nos anos de excedente hídrico. ....	44
Figura 20: Volume calculado de cada bacia estudada nos anos de criticidade hídrica. ....	44
Figura 21: Reserva Reguladora do Aquífero Guarani. ....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Vazão, intervalo de tempo e coeficiente de recessão (k), em anos de criticidade hídrica.....	40
Tabela 2: Vazão, intervalo de tempo e coeficiente de recessão (k), em anos de excedente hídrico.....	40
Tabela 3: Restituição de cada bacia para os anos de criticidade hídrica. ....	41
Tabela 4: Restituição e Volume de cada bacia para os anos de excedente hídrico. ....	41
Tabela 5: Restituição da precipitação para os anos de excedente hídrico das bacias selecionadas.....	41
Tabela 6: Restituição da Precipitação para nos anos de criticidade hídrica das bacias selecionadas.....	42
Tabela 7: Calculo da Reserva Reguladora do Aquífero .....	45

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1	OBJETIVO GERAL.....	12
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>13</b>
3.1	GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS.....	13
3.2	CICLO DA ÁGUA E BALANÇO HÍDRICO.....	16
3.3	ÁGUAS SUBTERRÂNEAS.....	17
3.4	SISTEMA AQUÍFERO GUARANI (SAG).....	18
3.5	RECARGA SUBTERRÂNEA E RESERVA REGULADORA.....	22
<b>4</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
4.1	LOCALIZAÇÃO DA ÁREA.....	24
4.2	CURVA DE RECESSÃO .....	25
4.3	CÁLCULO DA RESERVA REGULADORA.....	33
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>35</b>
5.1	CURVA DE RECESSÃO PARA AS BACIAS ESTUDADAS.....	35
5.2	ANÁLISE DA RESTITUIÇÃO DAS BACIAS .....	38
5.3	ANÁLISE DA RESERVA DAS BACIAS .....	43
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>48</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso de extrema importância e sobrevivência para os seres vivos, e, pode ser renovada constantemente pelo ciclo hidrológico, mas sua distribuição é variável no tempo e no espaço e por isso a gestão dos recursos hídricos vem sendo abordada e discutida em vários tipos de estudos, políticas públicas, encontros sociais e educacionais (SANTOS, 2009).

A questão dos recursos hídricos deve ser conduzida de maneira sábia para assim não comprometer a disponibilidade da água atual e para as gerações futuras. Nesse sentido, o uso irracional e desordenado dos recursos hídricos tem causado danos irreversíveis ao meio ambiente e problemas socioambientais em diferentes localidades e de variáveis escalas de análise.

Muitas vezes esses problemas estão representados pela escassez e contaminação da água, que por sua vez afetam diretamente a saúde humana, entre outros fatores que interferem negativamente no uso do recurso em todo o planeta.

A quantidade de água doce no estado líquido disponível no Brasil é consideravelmente alta, mesmo considerando sua distribuição irregular pelo território brasileiro. Contudo, para manter seus padrões de qualidade e quantidade adequados às necessidades da sociedade e para as gerações futuras são necessários estudos que avaliem os estado das reservas hídricas, especialmente das águas subterrâneas.

Sabe-se que as águas subterrâneas tem sido uma alternativa para o consumo humano nas últimas décadas, especialmente por ser uma opção eficaz e confiável para abastecer as populações, muitas vezes, dispensando tratamentos complexos e onerosos para atingir a potabilidade da água.

O Sistema Aquífero Guarani (SAG), é uma importante fonte de recursos hídricos e representa ainda uma reserva estratégica de água para alguns países da América do Sul. Sua extensão abrange áreas territoriais do Brasil, Argentina, Uruguai e Paraguai que representa área total de 1.200.000 km<sup>2</sup>, desse total cerca de 840.000 km<sup>2</sup> está distribuído entre oito estados brasileiros: Goiás, Mato grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo (CAMPOS, 2013).

Sinelli (1984) destaca que o uso do SAG para abastecimento de Ribeirão Preto remonta à década de 30. Segundo Santos (2009), já em 2009 eram mais de 400 poços em atividade, somente nesse município e 1.389 para todo o estado, situação essa que preocupa os órgãos gestores de recursos hídricos.

O SAG é um grande manancial de abastecimento de água no estado de São Paulo, onde cidades grandes e importantes do interior paulista, tais como: Araçatuba, Araraquara, Bauru, Marília, Ribeirão Preto e São José do Rio Preto, são abastecidas parcialmente ou totalmente por esse aquífero (SANTOS, 2009).

Estudos, como os da CETESB, (1997), Chang (2001), Santos (2009) e Campos (2013), apontam para o aumento considerável da exploração das águas do SAG ao longo dos últimos anos. Além disso, segundo essas mesmas fontes, cerca de 70% do total consumido no abastecimento de águas no estado de São Paulo, advêm deste sistema. Com isso a gestão do uso sustentável das águas subterrâneas vem se tornando um ponto cada vez maior a ser debatido, investigado e analisado.

Dessa forma, o desenvolvimento deste trabalho justifica-se pela crescente pressão sobre a demanda de água do SAG no estado de São Paulo, exercida principalmente pelo crescimento populacional e pela produção de bens de consumo, o que leva à necessidade da utilização de métodos que proporcionem avaliações sobre a potencialidade hídrica de aquíferos, direcionada sobretudo a sua recarga e escoamento de base, obtendo assim, as informações relevantes da situação atual das reservas reguladoras e estimem o quanto a mesma pode ser explorada de modo que haja um gerenciamento destes recursos para que a reserva não seja danificada ou até mesmo esgotada.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo principal, avaliar as potencialidades das reservas reguladoras subterrâneas do SAG no estado de São Paulo, através da utilização da metodologia da curva de recessão visando verificar a influência da variabilidade pluviométrica e fluviométrica sobre condições históricas de excedente e criticidade hídrica na recarga do SAG nesta região.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar e selecionar bacias hidrográficas inseridas na área de afloramento do SAG no estado de São Paulo;
- Levantar e analisar dados que representam séries históricas de pluviometria e fluviometria para análise da curva de recessão;
- Determinar o coeficiente de recessão e do volume de água contribuinte para as bacias selecionadas.
- Avaliar o potencial da reserva reguladora.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

Em todo o mundo cada vez mais os ambientes aquáticos vem sendo utilizados em grandes escalas e com distintas finalidades, como abastecimento de água, geração de energia, irrigação, navegação entre outros. Com isso, nos últimos anos o intenso uso da água tem causado preocupações devido as ações indevidas do ser humano o que resulta em fatores negativos para os próprios usuários. O Brasil ainda tem uma vantagem de dispor de abundantes recursos hídricos, porém a facilidade que se tem em desperdiçar esse 'bem' também é grande, pois o ser humano, na busca de um desenvolvimento econômico "a qualquer custo", vem explorando os recursos naturais de maneira excessiva, considerando-os inesgotáveis, o que tem acarretado muitos danos ecológicos que, em grande parte, são irreparáveis (MORAES E JORDÃO, 2002).

O primeiro sistema de gestão de águas no Brasil estava baseado no antigo Código das Águas, de 1934. Este código mesmo sendo um importante marco jurídico privilegiava os usos de aproveitamento hidrelétrico de água e não combatia problemas que surgiram a partir do crescimento econômico do século XX, como poluição das águas, enchentes, aumento da demanda de água na indústria e na agricultura, entre outros. Nas últimas décadas devido à preocupação com as águas do Brasil, o sistema de gerenciamento de recursos hídricos brasileiro passou por inúmeras inovações, e assim surgiram algumas políticas específicas, como a Política Nacional dos Recursos Hídricos, através da Lei 9.433 de 09 de janeiro de 1997, e a criação da Agência Nacional das Águas (ANA), através da Lei 9.984, de 17 de julho de 2000 (FONSECA; PRADO FILHO, 2006).

As mudanças no setor de recursos hídricos no Brasil veio se concretizar após essas instalações, principalmente com a criação da Agência Nacional das Águas (ANA) em 2000. A ANA, tem como objetivos implementar, controlar, avaliar e operacionalizar os instrumentos de gestão criados pela

Política Nacional dos Recursos Hídricos. A ANA também incentiva atividades como o estímulo a criação dos comitês de bacias hidrográficas, e é consciente na sua participação em todos os arranjos deste ramo, não medindo esforços, uma vez que sabe o papel que tem que ser cumprido através da Lei das Águas. Além de todos esses fatores, a ANA também se torna responsável pela gestão financeira da cobrança pelo uso da água (ANA - Agência Nacional das Águas, 2014).

Em São Paulo especificamente em 1951, surgiu o Departamento de Águas e Energia Elétrica de São Paulo (DAEE), com o intuito de desenvolver o aproveitamento dos vários recursos hídricos no Estado (VARGAS, 1999).

Em junho de 1988, houve o surgimento de uma nova Lei, a Lei nº 6.134, que tem como parte específica cuidar dos depósitos naturais e águas subterrâneas no Estado de São Paulo. Encontra-se nessa Lei especificidades sobre as águas subterrâneas, sua preservação e importância:

*“Parágrafo único - Para os efeitos desta Lei são consideradas subterrâneas as águas que ocorram natural ou artificialmente no subsolo, de forma suscetível de extração e utilização pelo homem.*

*Art. 2º - Nos regulamentos e normas decorrentes desta Lei serão sempre levados em conta a interconexão entre as águas subterrâneas e superficiais e as interações observadas no ciclo hidrológico.*

*Art. 3º - As normas municipais, relativas ao uso e à ocupação do solo, deverão prever, obrigatoriamente, medidas de proteção dos aquíferos, quanto à poluição e à recarga. (Vetado)*

*Art. 4º - As águas subterrâneas deverão ter programa permanente de preservação e conservação, visando ao seu melhor aproveitamento.*

*§ 1º - A preservação e conservação dessas águas implicam em uso racional, aplicação de medidas contra a sua poluição e manutenção do seu equilíbrio físico, químico e biológico em relação aos demais recursos naturais.*

*§ 2º - Os órgãos estaduais competentes manterão serviços indispensáveis à avaliação dos recursos hídricos do subsolo, fiscalizarão sua exploração e adotarão medidas contra a contaminação dos aquíferos e deterioração das águas subterrâneas.*

*§ 3º - Para os efeitos desta Lei, considera-se poluição qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas subterrâneas, que possam ocasionar prejuízo à saúde, à segurança e ao bem estar das populações, comprometer o seu uso para fins agropecuários, industriais, comerciais e recreativos e causar danos à fauna e flora naturais.”*

São Paulo ainda é considerado um Estado antecipado, pois em 1991 instituiu a Lei 7663, da sua Política Estadual de Recursos Hídricos, sendo avaliado como um dos percussores nesta área. Esta Lei, de acordo com seu artigo 2º, tem por objetivo assegurar que a água que é um recurso essencial à vida ao desenvolvimento econômico e ao bem estar social possa ser utilizada e controlada por seus usuários e suas gerações futuras em São Paulo (SANTOS, 2009).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) é o órgão mais expressivo do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) e possui atribuições importantes como promover a articulação do planejamento de recursos hídricos com os planejamentos nacional, regional, estadual e dos setores usuários; deliberar sobre projetos de aproveitamento dos recursos hídricos; acompanhar a execução e aprovar o plano de gerenciamento dos recursos, e também decidir sobre a criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, se baseando em uma análise detalhada da bacia e de suas sub-bacias, a partir disso em Resolução de 05 de abril de 2000 estabelece regras que permitem que a sociedade aceite a real necessidade da criação dos comitês de bacias (SANTOS, 2009).

A bacia hidrográfica é definida como uma área de captação da água que está sendo precipitada, demarcada por divisores onde toda a água converge para um mesmo ponto, o exultório. O Comitê de Bacia Hidrográfica, segundo Abers e Keck (2004) é responsável pelo “estabelecimento de diretrizes e prioridades para gestão da água, através do plano de bacia; a deliberação sobre metodologia, critérios e preços de cobrança; e a criação das agências de bacia” (HONORATO, 2013, apud TEIXEIRA et al, 2000)

Segundo Santos (2009), as águas subterrâneas destacam-se pela experiência que alguns estados já obtiveram com relação a regulamentação e execução de atividades de gestão, uso ou proteção dos recursos hídricos. É unânime a necessidade de uma ação de disciplinamento e proteção deste recurso, por meio de uma legislação eficiente que demonstre uma efetiva e real responsabilidade por parte do poder público para com esse bem.

### 3.2 CICLO DA ÁGUA E BALANÇO HÍDRICO

Segundo João Manuel filho (2000), praticamente toda a água subterrânea encontrada no planeta Terra tem origem no ciclo hidrológico, de onde a natureza faz circular as águas do oceano para o continente, que, depois de um tempo retorna novamente se tornando superficial ou subterrânea.

É conhecido que a característica essencial de qualquer volume de água, esteja ela localizada em rios, lagos, tanques, represas e águas subterrâneas é sua instabilidade e sua mobilidade. No ciclo hidrológico todas as fases da água estão presentes, mas, a mais importante sem contestar é a fase líquida. Vários são os fatores que interferem neste ciclo, são eles a energia térmica, a força dos ventos, a gravidade, que é a responsável pela precipitação, pela infiltração e pelo deslocamento das massas, dentre outros. Dentro do ciclo hidrológico existem vários subciclos, incluindo a evaporação, a precipitação, a transpiração das plantas, percolação, infiltração e drenagem. A Figura 1 mostra a contribuição desses subciclos no ciclo hidrológico (TUNDISI, 2003).

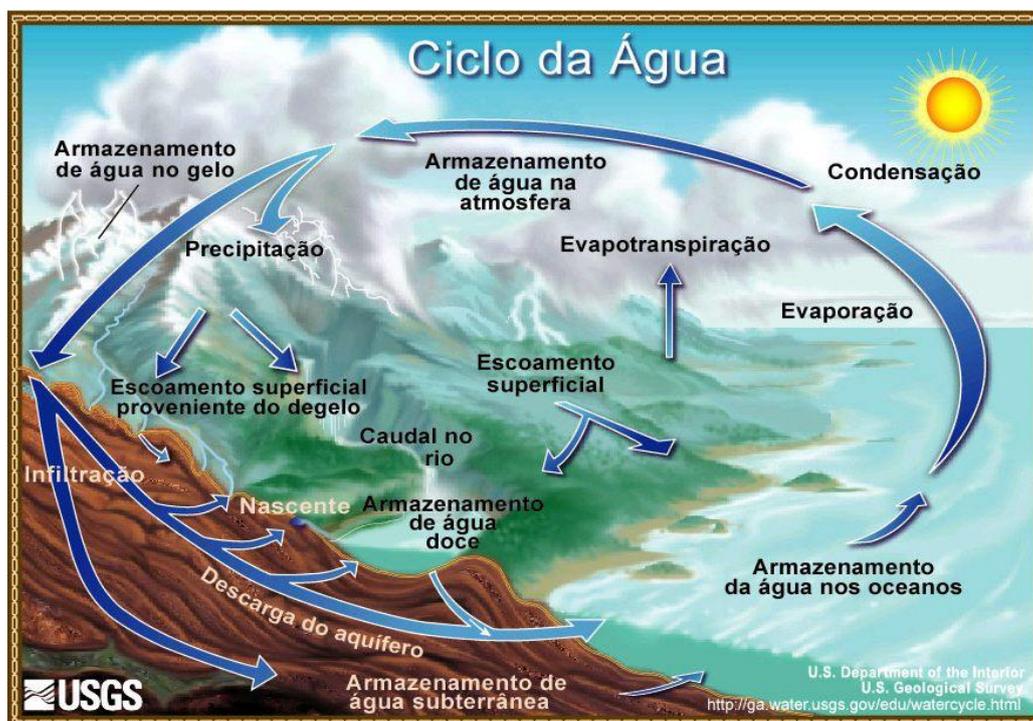


Figura 1: Ciclo Hidrológico e seus componentes.  
Fonte: USGS (2013).

Carvalho e Silva (2006), citam que a quantidade de água e a velocidade com que ela circula em todas as fases do ciclo são influenciadas por fatores como a cobertura vegetal, altitude, topografia, temperatura, tipo de solo e geologia.

Vargas (1999), afirma que o mecanismo do ciclo da água é imperfeito, uma vez que a distribuição da água das chuvas é desigual em toda superfície do planeta. Sabendo que boa parte das águas se perde nos oceanos antes mesmo de chegar no continente, além das condições geográficas como: vegetação, ventos, relevo entre outros, que também influenciam na distribuição desigual das chuvas. Um outro motivo ainda, é a temporalidade, onde a água se desloca com velocidades muito baixas, realimentando os aquíferos mais profundos e os demais corpos d'água.

Para se entender o conceito de balanço hídrico, primeiramente, deve-se saber que é o suprimento de entrada de precipitação e vazão para a demanda de água necessária de saída, que supri a vegetação, evaporação e armazenamento de umidade no solo em um determinado tempo. É necessário pensar que a precipitação deve estar equilibrada com a evaporação, transpiração e o escoamento, e o estoque de umidade contido no solo é uma reserva de água (CHRISTOPHERSON, 2009).

### 3.3 ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Água subterrânea é a fração de água que ocupa espaços vazios de formações rochosas ou geológica quando esta infiltra-se na camada superficial rochosa. O caminho que ela percorre passa por uma porção do solo chamada zona não saturada, ou zona de aeração, onde os poros ali estão parcialmente preenchidos por água e por ar, o restante da água que não permanece retida nessa faixa do solo continua seu movimento descendente devido a ação natural da gravidade e chega a uma camada conhecida como zona saturada, que é um local mais profundo e onde o excedente de água se acumula. Esta água que se encontra na zona saturada é a conhecida água subterrânea, e a

quantidade de água ali presente depende de vários fatores entre eles a porosidade da rocha e o clima da região (EZAKI; IRITANI, 2008).

Muitos pensam que os rios e lagos que são as fontes visíveis de água são as principais reservas que o ser humano tem para atender suas necessidades, no entanto, 97% da água doce encontrada em todo o planeta Terra encontram-se no subsolo, sendo esta a maior reserva de água para consumo humano (FEITOSA; MANUEL FILHO, 2000).

Segundo Teixeira et al. (2000), essas águas geralmente são armazenadas em rochas sedimentares porosas ou até mesmo permeáveis e quando são submetidas a forças de adesão e de gravidade desempenham um papel fundamental na manutenção da umidade do solo, no fluxo dos rios, lagos e brejos.

Também é importante a contribuição que as águas subterrâneas dão ao ciclo hidrológico, pois elas também fazem parte da parcela de água precipitada.

As águas se precipitam e infiltram no solo devido a vários fatores, entre eles a porosidade do subsolo, cobertura vegetal, inclinação do terreno e até mesmo o tipo da chuva se for intensa ou chuva fina. Sendo assim quando a infiltração acontece essas águas chegam no lençol e são chamadas de águas subterrâneas. Sua distribuição é muito variável, porém ocorrem em grandes extensões.

A composição química da água subterrânea é a combinação da composição da água que adentra o solo e da evolução química influenciada diretamente pelas rochas em que essas águas passam, assim o teor de substâncias dissolvidas nas águas subterrâneas vai aumentando à medida que prossegue no seu movimento (ABAS, 2003).

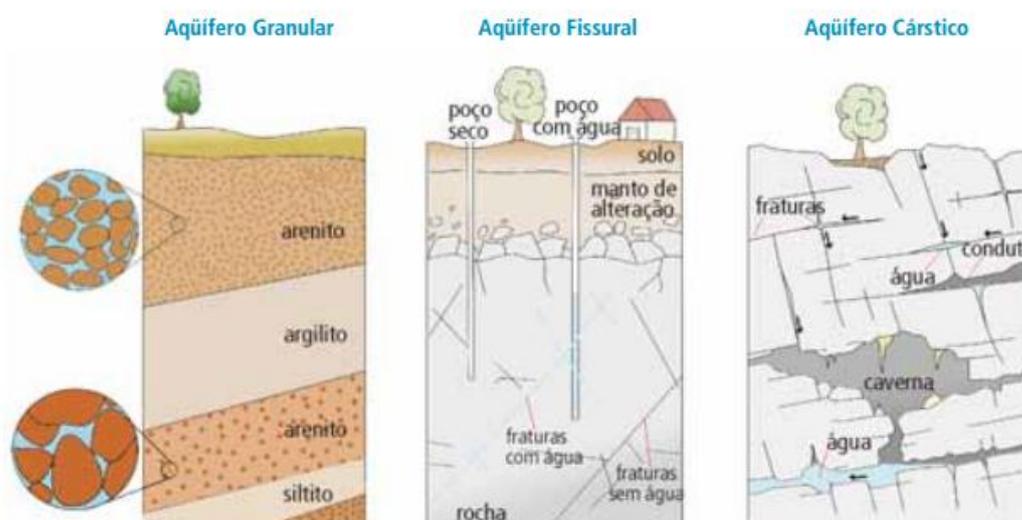
#### 3.4 SISTEMA AQUIFERO GUARANI (SAG)

Segundo Karman (2009), Aquífero (do latim “carregar água”), é uma formação geológica do subsolo, constituída por unidades rochosas ou de sedimentos com rochas permeáveis e porosas, que armazena água em seus

poros ou entre suas fraturas, possível de ser explorada pela sociedade. Diz-se um bom aquífero quando este possui média ou alta condutividade hidráulica, como sedimentos inconsolidados, rochas sedimentares, além de vulcânicas, plutônicas e metamórficas com alto grau de fraturamento.

Os aquíferos se dividem conforme a sua porosidade em granular, de fratura ou fissural e cársticos. Os granulares ocorrem no regolito e em rochas sedimentares clásticas que possuem uma porosidade primária, a água nesses aquíferos circula entre os espaços ou entre os poros. Já os de fratura ou fissural são formados de acordo com a deformação tectônica que ocorreu no terreno, onde o processo de dobramento gera fraturas que devido a sua profundidade algumas vezes são seladas, mas algumas vezes sofrem aberturas milimétricas permitindo assim a passagem de água por essas fissuras. Ainda existem os aquíferos conhecidos como cársticos que são conhecidos pela sua porosidade e possuem condutos milimétricos a métricos que são gerados a partir da dissolução das rochas carbonáticas. Estes possuem uma característica peculiar com volumes de água elevados mais extremamente suscetíveis a contaminação devido à pouca filtração que este tipo de porosidade proporciona. (IVO KARMAM, 2009)

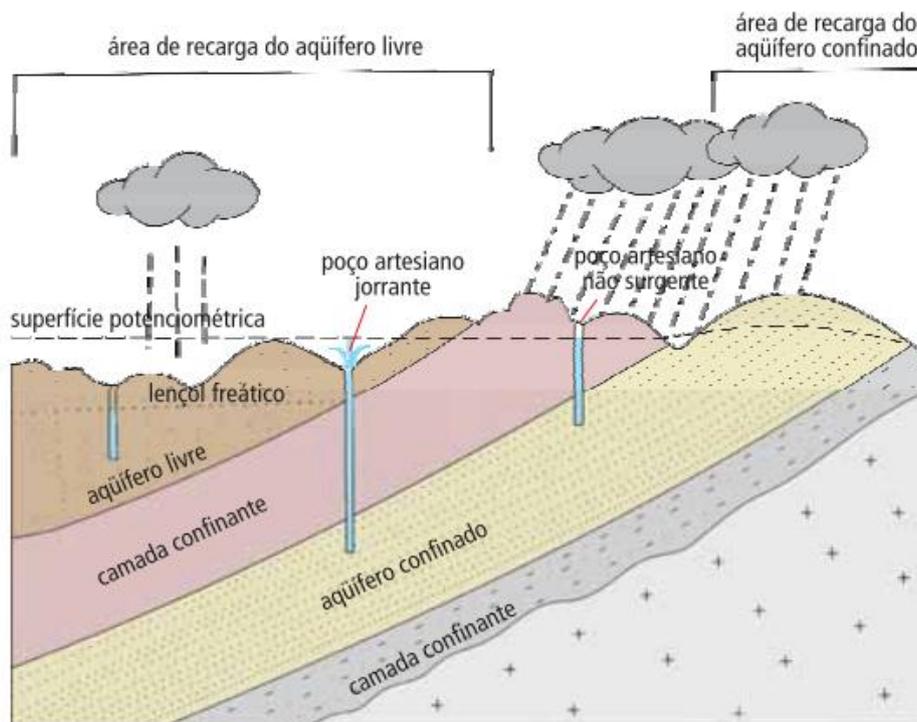
A Figura 2 mostra a classificação dos aquíferos de acordo com a porosidade da rocha.



**Figura 2 – Classificação dos Aquíferos de acordo com a porosidade.**  
**Fonte: Ezaki; Iritani (2008).**

Ezaki e Iritani (2008) mostram que é possível também uma outra classificação dos aquíferos, quanto as suas características hidráulicas, sendo divididos em livres, confinados e suspensos, dependendo sempre da pressão que estão submetidos. Nesta classificação o aquífero livre é aquele que está mais próximo da superfície, e é submetido a pressão atmosférica, já o aquífero confinado é aquele que está limitado no topo e na base por camadas de rochas com baixa permeabilidade, como a argila e está submetido a uma pressão ainda maior que a atmosférica. O nível da água em aquíferos confinados é chamado de potenciométrico. Os aquíferos suspensos são acumulações de água sobre aquitardes na zona insaturada, essas águas se acumulam e ficam armazenadas temporariamente, e, em épocas de seca, esses aquíferos podem se extinguir.

A Figura 3 mostra a diferença dos aquíferos confinados e dos aquíferos livres.



**Figura 3 – Aquífero livre e Aquífero confinado**  
 Fonte: Ezaki; Iritani (2008)

O SAG ocupa uma área de 840.000km<sup>2</sup> de extensão no território brasileiro. Está localizado na região centro-oeste da América do Sul, entre 12° e 35° de latitude sul e entre 47° e 65° de longitude oeste. Suas águas tem sido exploradas para diversos tipos de uso, como abastecimento público, irrigação, industrial, recreação e calefação, mas devido ao uso desordenado e ao desenfreado crescimento populacional que consequentemente acelera o uso dessas águas é importante preocupar-se com a sustentabilidade e o uso correto e consciente dessas águas (VICTORINO, 2007).

A Figura 4 mostra a localização do aquífero em relação a América Latina:



**Figura 4: Localização do Aquífero Guarani**  
**Fonte: Revista Super Interessante nº 07 ano 13**

Sabe-se que o SAG é constituído de arenitos eólicos e fluviais bem selecionados, e atinge profundidades de até 1500m. É considerado um aquífero livre apenas nas bordas da Bacia do Paraná, e confinado em 90% de sua extensão. E está intercalado entre as camadas permianas do grupo passa dois e os derrames basálticos cretáceos da Formação Serra Geral (CAMPOS, 2013).

Com este intenso uso os países integrantes do aquífero se mostraram preocupados e com interesse em usá-lo mais de forma sustentável, e preservar para gerações futuras. Assim, em 1934 no Código das Águas encontra-se:

*“Art. 98. São expressamente proibidas construções capazes de poluir ou inutilizar para o uso ordinário a água do poço ou nascente alheia, a elas preexistentes.*

*Art. 99. Todo aquele que violar as disposições dos artigos antecedentes, é obrigado a demolir as construções feitas, respondendo por perdas e danos.”*

### 3.5 RECARGA SUBTERRÂNEA E RESERVA REGULADORA

Recarga subterrânea é entendida como uma quantidade de água que alcança um sistema aquífero, sempre com o fluxo de água descendente e independente de sua origem, atingindo o nível freático (PUC-RIO).

Esta recarga pode ocorrer por ação da natureza como por infiltração de rios, canais e lagos, precipitação, fluxos inter-aquíferos, e por fenômenos causados pela ação antrópica, como a irrigação e a urbanização. Sendo o principal entre esses fatores a precipitação. A recarga tem sua quantificação influenciada ainda por fatores climáticos, e suas taxas são limitadas em grande parte pela água superficial disponível no terreno, que é dependente da precipitação, evapotranspiração e características como topografia, tipo de solo, e cobertura vegetal do mesmo (MAZIERO e WENDLAND, 2004).

A recarga é dividida em dois tipos principais, a direta e a indireta. A recarga direta ou difusa é a quantidade de água que cai diretamente em resposta à precipitação e infiltra na superfície do sendo adicionada ao reservatório de água subterrânea, através da zona não saturada. Neste tipo de recarga os déficits de umidade do solo e de evapotranspiração são descontados. Já a recarga indireta é a quantidade de água que atinge o lençol freático que advém de corpos de água superficiais como rios, poças, áreas de topografia rebaixada, lagos ou de algum outro aquífero subjacente (LUCAS, 2012).

Assim verifica-se que existem duas categorias de recarga indireta, uma associada a cursos de águas superficiais, e outra que resulta que advém da recarga localizada que são as concentrações de água em superfícies planas. (PUC – RIO)

A reserva reguladora aquífera pode ser entendida como o volume hídrico que vem sendo acumulado no aquífero em função da porosidade ou do coeficiente de armazenamento do mesmo, contribuindo em sua descarga para a rede hidrográfica na área de afloramento do aquífero. Esta reserva é variável anualmente devido ao escoamento subterrâneo, dos exutórios e os aportes sazonais de águas superficiais (COSTA, 1998).

Quando se quer analisar e estimar a reserva reguladora de um aquífero, vários critérios podem ser utilizados, como as variações de superfície potenciométrica em medidas anuais, as da taxa de infiltração do local, através de infiltrômetros instalados na área, ou ainda por curvas de recessão dos rios que compõem a área de estudo (CELLIGOI; DUARTE, 2009).

Segundo Costa (1998), a importância de se conhecer a reserva de um aquífero é que assim também conhece-se a sua potencialidade, e, devido a isso é possível saber o volume hídrico que pode ser utilizado ou explorado em um determinado período de tempo sem causar danos ou desastres ao meio ambiente.

Quando se faz o cálculo de uma reserva reguladora vários fatores estão interligados, como o conhecimento técnico do aquífero, as condições superficiais de alimentação, e a sua restituição superficial para se conhecer exatamente o que interfere na reserva do local a ser analisado (FEITOSA; MANUEL FILHO, 2000)

## 4 METODOLOGIA

Para a concretização da pesquisa elaborada, num primeiro momento, foi realizada uma criteriosa revisão bibliográfica, envolvendo consulta em teses, trabalhos científicos, dissertações, artigos e outros instrumentos de pesquisas que tem como base a gestão de recursos hídricos, o estudo da curva de recessão, gestão das águas subterrâneas e o cálculo de suas reservas reguladoras.

Num segundo momento, para a aplicação da metodologia, foram selecionados os dados de fluviometria e pluviometria para diversas bacias hidrográficas que estão situadas na zona de afloramento do SAG. Após o levantamento e a seleção dos dados, foi possível avaliar a compatibilidade de série histórica de cada uma das bacias inseridas na área de afloramento do SAG através da análise dos dados fluviométricos e pluviométricos, possibilitando a seleção das bacias que seriam estudadas.

A aplicação desse processo inicial, possibilitou a seleção de seis bacias hidrográficas inseridas na zona de afloramento do SAG.

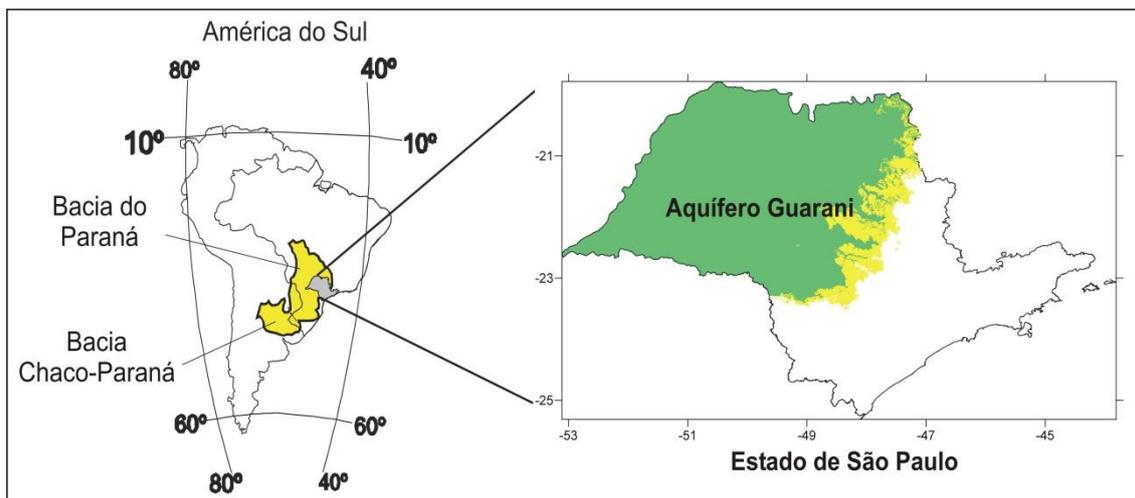
Para a seleção dos anos, dentro da série histórica levantada, foi analisada a média anual da série histórica pluviométrica, optando-se pela escolha de um ano de excedente hídrico (chuvas acima da média histórica) e um ano de criticidade hídrica (chuvas abaixo da média histórica) avaliando-se assim, o momento de recessão para cada período hídrico, o que possibilitou o cálculo da restituição e do volume contribuinte para as bacias hidrográficas selecionadas para os mesmos cenários.

A seguir são representadas essas etapas de forma mais detalhada.

### 4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A área de estudo está inserida na porção nordeste da Bacia do Paraná, entre os paralelos 20° e 23° 30' de latitude sul e os meridianos 47° e 52° 30' de longitude oeste, dentro dos limites do estado de São Paulo (Figura 5). Esta

área abrange o centro-oeste do estado, tendo como limites naturais: ao norte, o rio Grande, a oeste, o rio Paraná, a sul, o rio Paranapanema e, a leste, a linha de contato geológico entre os grupos São Bento e Passa Dois. Sua extensão total é de aproximadamente 155.800 Km<sup>2</sup>.



**Figura 5 - Delimitação da área de estudo e os municípios inseridos na área de estudo do SAG no Estado de São Paulo.**

Fonte: Santos (2009).

No estado de São Paulo, a exploração do SAG ocorre em cerca de 1000 poços e situa-se em uma faixa do sudeste ao nordeste. A área em destaque no presente estudo abrange cerca de 400 poços, sendo um número consideravelmente alto em relação ao total, chegando a ser praticamente a metade do total dos poços encontrados no Estado, a maior parte dos poços se encontram em uma área onde a sua recarga tem uma ocupação em média de 17.000 km<sup>2</sup> (SANTOS 2009).

## 4.2 CURVA DE RECESSÃO

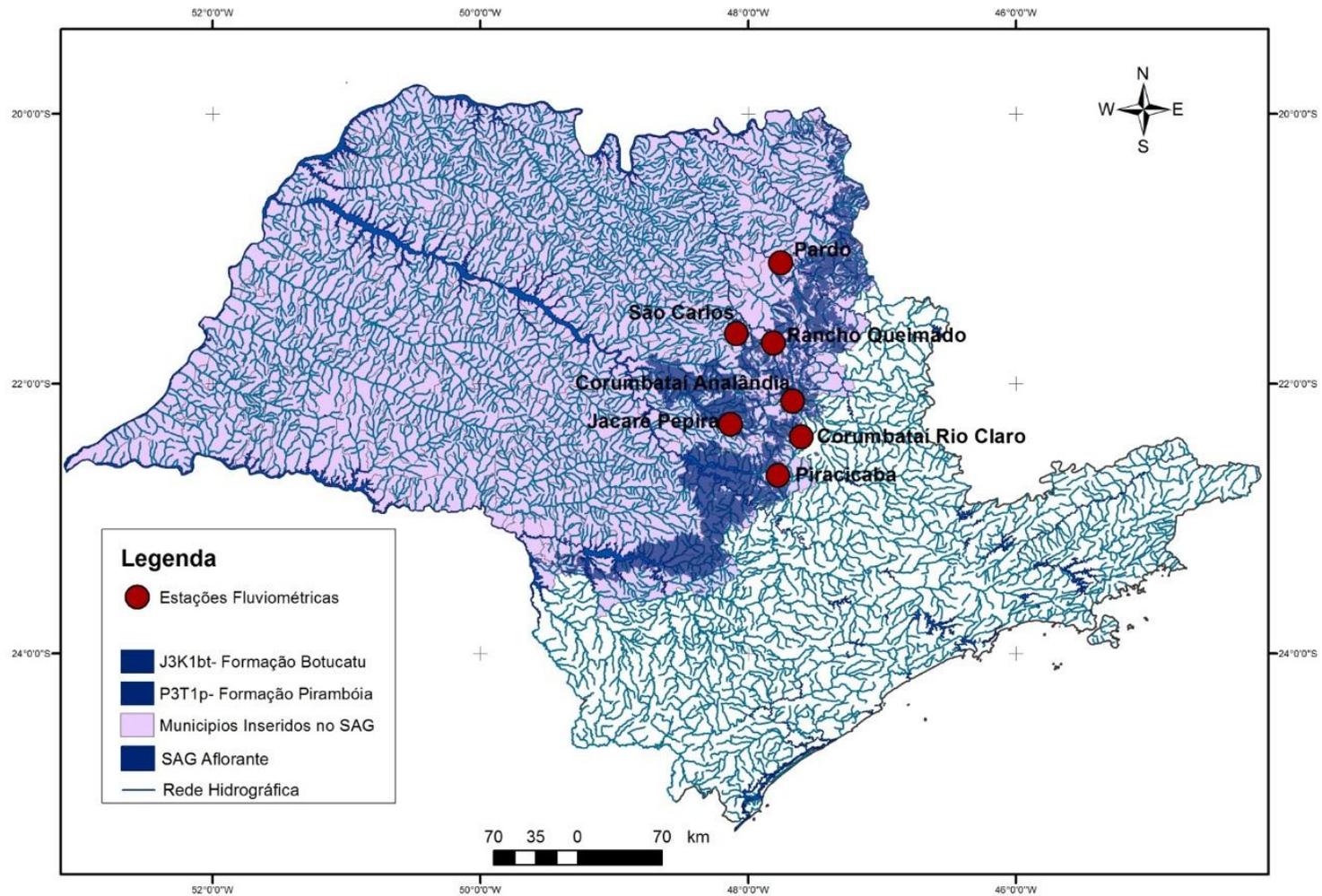
Existem vários métodos que possibilitam fazer a estimativa das reservas reguladoras de aquíferos. Para a análise das reservas reguladora

aquífera da área de afloramento do SAG no estado de São Paulo, foi selecionada a metodologia do cálculo da curva de recessão.

Barbosa e Fill (2001) definem a curva de recessão como sendo a vazão expressa em função do tempo, durante um período sem precipitações significativas, em que o rio é alimentado exclusivamente pelas contribuições do fluxo de base provindo das reservas de água subterrânea. Desse modo, no período da estiagem, onde as precipitações são mínimas, os resultados obtidos pela aplicação dessa metodologia apresentam-se mais confiáveis, pois nesta época é possível perceber a reserva do aquífero verdadeiramente, sem o efeito das chuvas que influenciam na restituição e no escoamento superficial das áreas estudadas.

Cabe destacar ainda, quando se estuda a capacidade do armazenamento subterrâneo, do ponto de vista de suas reservas reguladoras, que é feito a partir da base no deflúvio do período de esgotamento ou da recessão hidrológica. O esgotamento significa um período sem recarga significativa dos aquíferos e conseqüente diminuição de descarga natural.

Os municípios da região de afloramento do SAG em que os dados foram analisados foram: Brotas, que se encontra na bacia hidrográfica do Tietê; Piracicaba, localizado na bacia hidrográfica Piracicaba; Ribeirão Preto, localizado na bacia hidrográfica do Rio Pardo; Rincão, localizado na bacia hidrográfica de Rancho queimado; Rio Claro, que se encontra na bacia hidrográfica de Corumbataí e São Carlos, situado na bacia hidrográfica de Mogi-Guaçu, a Figura 6 mostra claramente a distribuição dos municípios no estado de São Paulo.



**Figura 6 - Mapa de localização das estações fluviométricas selecionadas. Em destaque a zona de afloramento das formações geológicas do SAG (zona de recarga aquífera) e os municípios inseridos na área de domínio do SAG no estado de São Paulo. Fonte: Santos, 2014.**

Os pontos da Figura 6 fazem parte da área de influência das estações fluviométricas, porém os pontos considerados nas estações pluviométricas foram os mesmos. Sabe-se que os dados fazem parte de uma rede pluviométrica e fluviométrica distribuída em vários municípios do estado de São Paulo disponíveis para pesquisa através do Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo (SigRH).

Os dados de pluviometria e fluviometria foram selecionados nesta área de afloramento do SAG no estado de São Paulo. Tal escolha, baseia-se por ser esta zona, no local de recarga direta por precipitação que alimenta as reservas aquíferas do SAG no estado. Esses dados foram obtidos por pesquisas no site do SigRH, que é um site do Governo do Estado de São Paulo juntamente com a Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos.

Assim, através de investigações em uma base de dados histórica e confiável do SigRH, sempre em anos e cidades iguais para os parâmetros escolhidos, foram selecionadas as estações fluviométricas e pluviométricas de interesse para a pesquisa. As Figuras 7, 8 e 9 exemplificam os passos necessários para se fazer o download dos dados avaliados no site para que a pesquisa fosse concluída.

Primeiramente a Figura 7 mostra onde foi escolhido o tipo de dado que se desejava, se pluviométrico ou fluviométrico, na Figura 8 existia a opção de se fazer a pesquisa por prefixo DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica), prefixo ANA (Agência Nacional das Águas), nome do posto, município ou curso d'água, a opção escolhida para se obter os dados foi por município, e assim se escolhia qual o município se desejava fazer a busca de dados, sendo estes municípios selecionados de acordo com a zona de afloramento do SAG. Após a escolha do município existia a última opção no site onde foi escolhida a opção download, tanto de vazão quanto de pluviometria.

**SigRH** Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo

Governo do Estado de São Paulo  
Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos

O SigRH | Comitês de Bacias | Comitês de Rios da União | CRH | CORHI | FEHIDRO | Base Documental

## Dados Hidrometeorológicos

(Fonte: DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica)

- Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo**
- Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo
- Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo

Estes links referem-se a dados armazenadas até 2004. Para a obtenção de dados mais recentes, contate o DAEE.

COORDENADORIA DE RECURSOS HÍDRICOS  
Rua Bela Cintra, 847 - Consolação - Cep: 01415-903 - São Paulo  
Tel: (11) 3218-5544  
contato.crhi@gmail.com

**Figura 7 – Passo 1: escolha da rede de dados para consulta**  
Fonte: Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo, 2014.

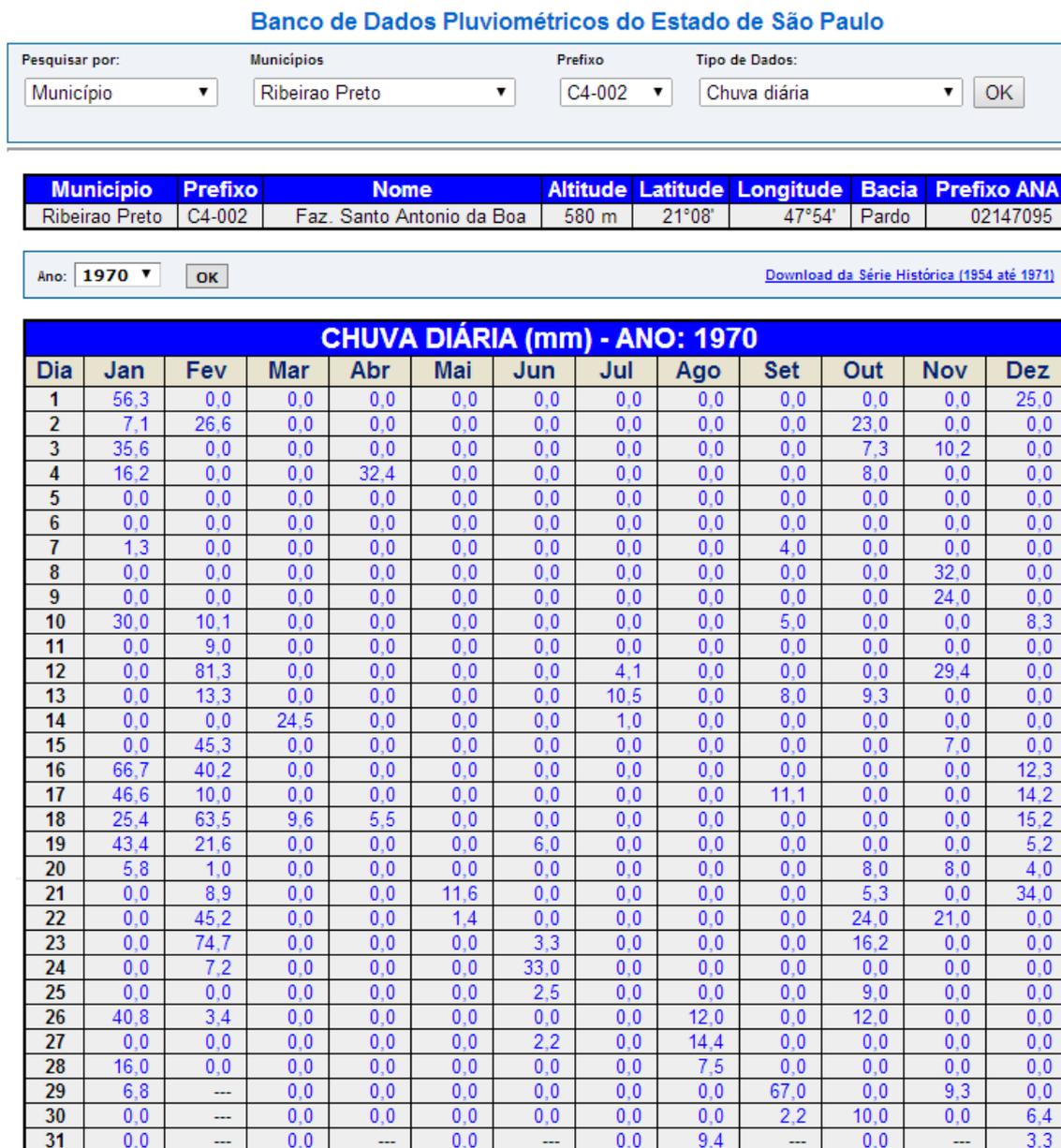
**Banco de Dados Pluviométricos do Estado de São Paulo**

Pesquisar por: Município | Municípios: Adamantina | Prefixo: C8-004 | Tipo de Dados: Chuva diária

Chuva diária  
Chuva mensal  
Máximos mensais  
Pluv. médio diário  
Pluv. acum. mensal  
Pluv. acum. médio mensal  
Download de dados

OK

**Figura 8 – Passo 2: escolha do tipo de dados em relação ao tipo de pesquisa**  
Fonte: Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo, 2014.

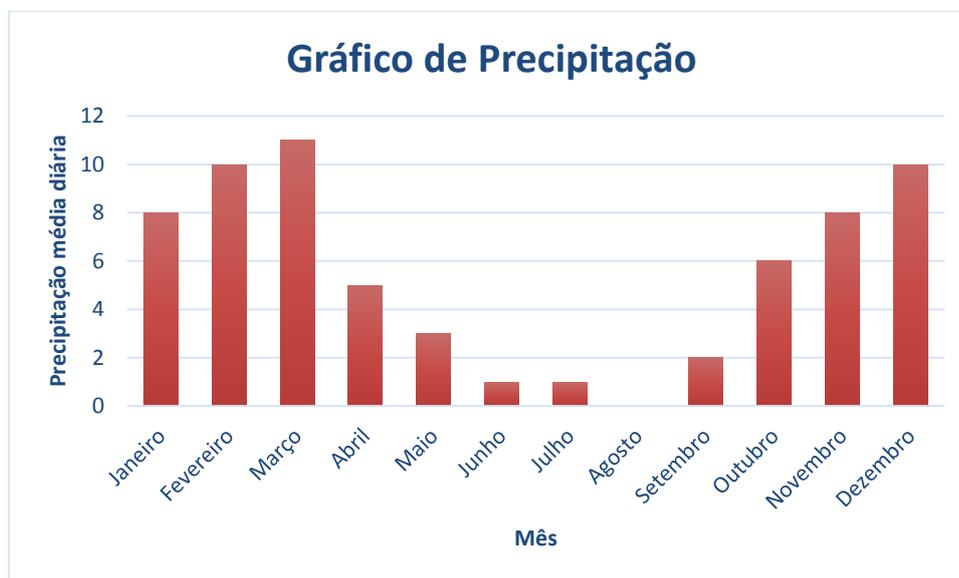


**Figura 9 – Passo 3: visualização dos dados obtidos e opção de download para toda a série histórica.**

**Fonte: Sistema de Informações para o Gerenciamento de Recursos Hídricos de São Paulo, 2014.**

Para se alcançar o objetivo do trabalho foram levantados dados das séries escolhidas a partir das precipitações diárias/pluviometria, foi feito, como já mencionado, a escolha de um ano de seca e um ano de excedente hídrico para cada bacia, assim, os dados para esses dois anos escolhidos de cada bacia, foram colocados em ordem crescente em gráficos com médias anuais de cada mês, esses gráficos foram estruturados e organizados no software

Microsoft Excel 2013. Como exemplo dos gráficos que serão gerados tem-se a Figura 10.



**Figura 10: Exemplo de gráfico de barra de precipitação média diária.**  
**Fonte: Autoria própria**

A partir dos dados fluviométricos pesquisados, também para um ano de momento crítico e excedente hídrico para cada bacia, foi possível gerar a curva em escala logarítmica onde possibilitou identificar o período de recessão para cada ano hidrológico estudado na pesquisa. O gráfico representando a curva de recessão esta exemplificado na Figura 11 e pode ser expressa de acordo com a seguinte equação, utilizada por Rosa Filho (1993) e Celligoi (2000):

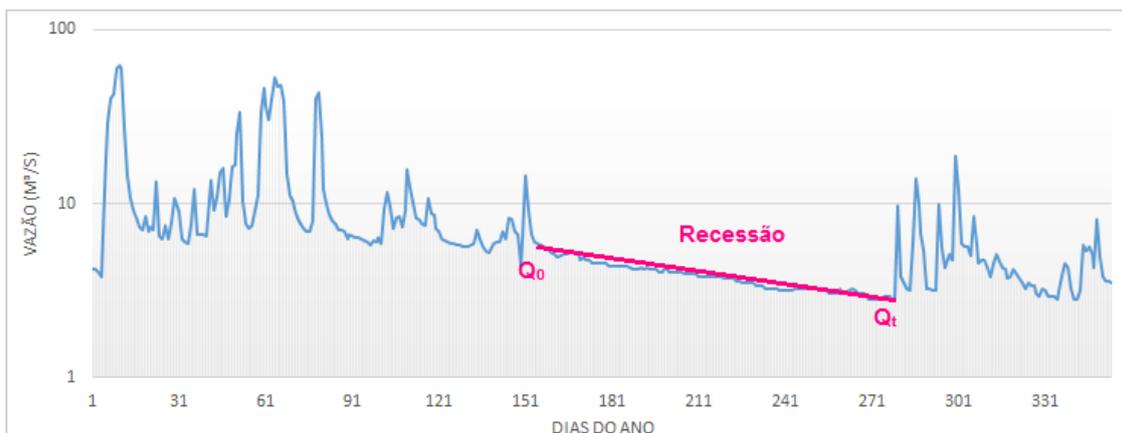
$$Q = Q_0 * e^{kt} \quad (1)$$

Onde:

$Q_0$  = representa a descarga do rio no início da recessão ( $m^3/s$ );

$Q$  = representa a descarga do rio ( $m^3/s$ ) após um período de dias ( $t$ );

$K$  = representa a constante de recessão;



**Figura 11: Exemplo de curva de recessão.**  
**Fonte: Autoria Própria.**

Rearranjando a equação 1 e aplicando logaritmo, tem-se a constante de recessão:

$$k = - \frac{\ln(Q) - \ln(Q_0)}{\Delta T} \quad (2)$$

Onde:

$\Delta T$  = Intervalo de tempo do início ao fim da recessão (em dia).

O volume de água contribuinte para a bacia em cada ano selecionado (V) em m<sup>3</sup>/ano é dado por:

$$V = \frac{Q_0 \cdot 86400}{K} \quad (3)$$

É importante se fazer o cálculo do volume, pois com o este valor é possível fazer o cálculo da restituição, que é o quanto de pluviosidade que cai e é devolvido para o aquífero, depois de já se ter perdido um pouco de água por infiltração e também pelo escoamento superficial. Assim, a restituição (h) em mm é dado por:

$$h = \frac{V}{A} \quad (4)$$

Onde A = área da bacia localizada na zona de afloramento do SAG (m<sup>2</sup>).

Encontrado a restituição da bacia, um cálculo foi feito para se obter a restituição relativa, que é dado em porcentagem. A restituição relativa é a razão entre a restituição e a soma da precipitação até o Q da curva de recessão do ano estudado e indica o quanto de chuva naquele devido ano voltou para o aquífero como fluxo de base:

$$H_{\text{relativa}} = \frac{(h)}{(\text{precipitação até Q})} * 100 \quad (5)$$

Onde:

H relativa = restituição relativa (%);

h = restituição do aquífero (mm)

Precipitação até Q = soma da precipitação até Q (mm/ano)

### 4.3 CÁLCULO DA RESERVA REGULADORA

Estimar a reserva de um aquífero inclui várias limitações e incertezas, como por exemplo o custo financeiro e o balanço hídrico, alguns autores afirmam ainda que esta estimativa é a mais difícil de ser feita (TYLER; CHAPMAN; CONRAD, 1996; WOLOCK, 2003) mas vários são os métodos existentes para se fazer-la. Os erros mais comuns encontrados nestes cálculos são o modelo conceitual, erros em cálculos, variabilidade temporal e espacial negligenciada entre outros (LUCAS, 2012).

A partir dos dados de recessão foi possível calcular a reserva reguladora do aquífero. Primeiramente foi calculado o valor do k (constante de recessão), este, foi substituído na fórmula (2) e o valor de V (volume) foi encontrado e assim substituindo na equação (3) o valor do h (restituição) também foi encontrado, com isso, a reserva reguladora foi calculada por:

$$R_r = A_c \times h_m \quad (6)$$

Onde:

$R_r$  = Reserva da área de afloramento em cada ano selecionado ( $m^3$ );

$A_c$  = Área de afloramento do aquífero ( $m^2$ )

$H$  = restituição da bacia para o ano selecionado (m)

Com esses parâmetros calculados e analisados foi possível estimar a reserva que pode ser explorada para os diversos fins que já foram citados anteriormente, sem causar grandes impactos ambientais e evitando que planejamento socioeconômico e também o abastecimento público não seja alterado ou prejudicado com o alto nível de exploração, podendo assim ter-se um sistema de gestão das águas cada vez mais aperfeiçoado. (SANTOS E CELLIGOI, 2002)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos ao se calcular o coeficiente de recessão para o presente trabalho, foram analisados e separados em dois tópicos para serem apresentados: o primeiro tópico representa a análise dos dados de restituição para cada bacia hidrográfica selecionada, e o segundo representa uma análise do volume, feita entre dos dados das bacias analisadas.

### 5.1 CURVA DE RECESSÃO PARA AS BACIAS ESTUDADAS

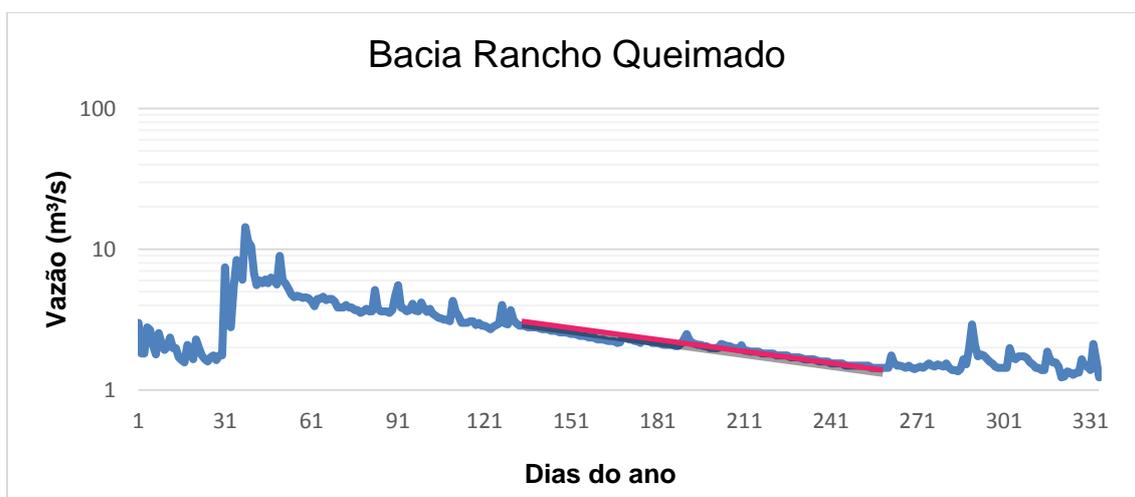
As bacias hidrográficas selecionadas para o estudo foram a de Corumbataí, Tietê, Piracicaba, Rio Pardo, Ribeirão do Rancho Queimado e Mogi Guaçu, assim, para cada bacia analisada foi escolhido um ano de momento crítico hídrico, ou seja, seca, e um ano de momento excedente hídrico, ou cheia. De acordo com os dados de pluviometria selecionados em pesquisa, foi possível analisar dentro da série histórica os meses de menos chuva no ano de seca escolhido e no ano de cheia e verificar que é possível identificar este momento também no gráfico da fluviometria. Sendo assim é de fácil entendimento que os dois dados estão inteiramente associados podendo ser analisados sempre em conjunto quando necessário.

É possível ver nas Figuras 12 e 13 a relação entre os gráficos de pluviometria e fluviometria com a curva de recessão em destaque para o ano de 1995, que foi um ano de excedente hídrico da Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Rancho Queimado.



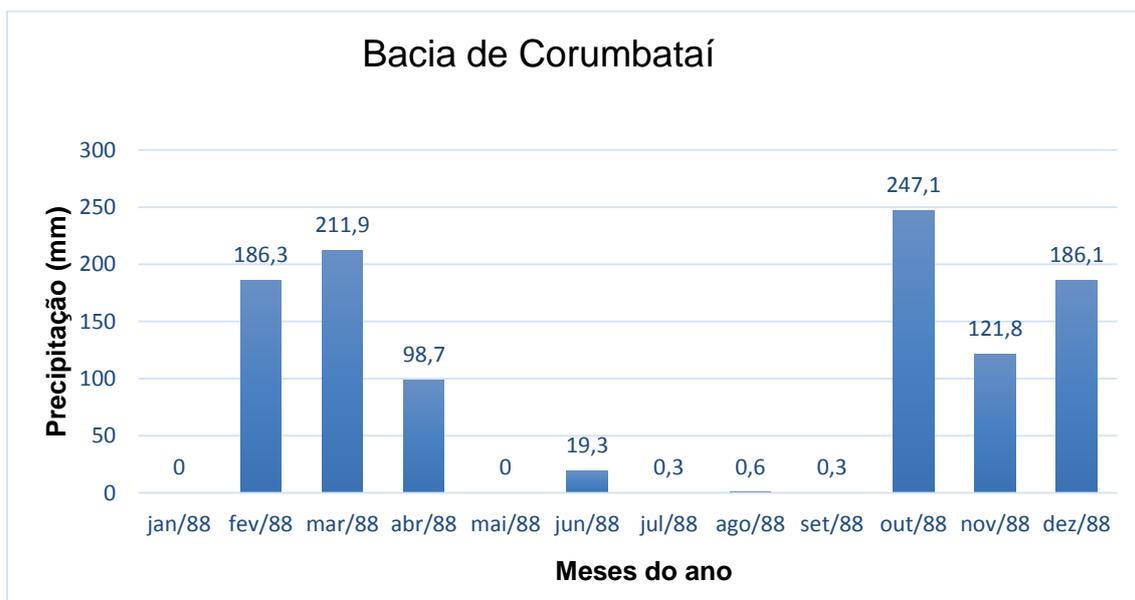
**Figura 12 – Precipitação na Bacia do Ribeirão do Rancho queimado em 1995.**  
**Fonte: Autoria própria**

Analisando a Figura 12, fica evidente que os meses de menor precipitação foram entre maio e setembro de 1995, período em que é inverno e esta seca pode ser explicada pela estiagem, principalmente no mês de agosto, assim a recessão se inicia em média no dia 130 do ano referido e termina próximo do dia 270, que é o período em que o aquífero não recebe precipitações ficando dependente apenas de sua reserva.



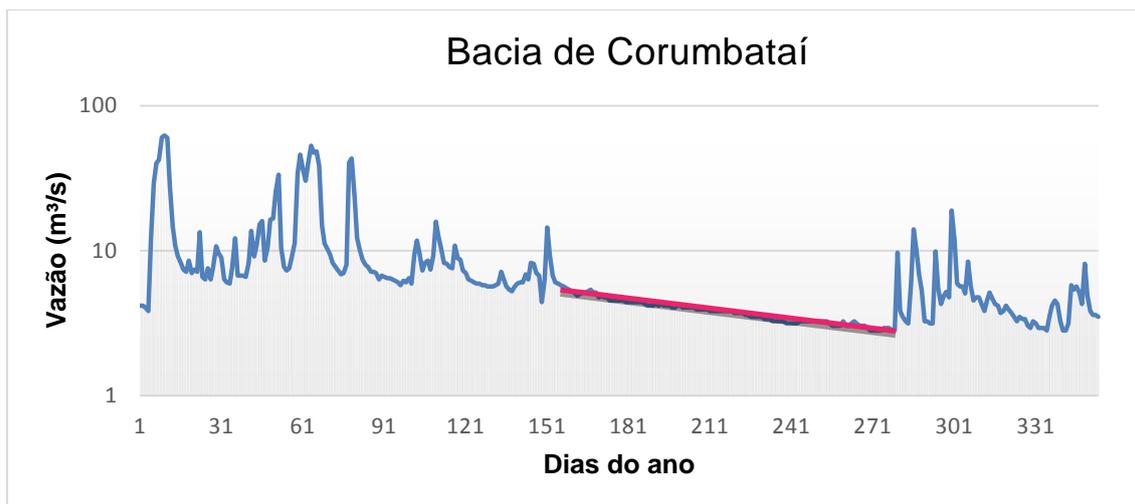
**Figura 13 – Vazão diária evidenciando a curva de recessão**  
**Fonte: Autoria Própria**

Gráficos de todas as bacias analisadas foram feitos para melhor visualização dos dados, as Figuras 14 e 15 mostram mais um exemplo de gráfico de precipitação do ano de 1988 que foi um ano de momento crítico hídrico e de fluviometria evidenciando a curva de recessão.



**Figura 14 - Precipitação na Bacia de Corumbataí em 1988.**  
Fonte: Autoria Própria

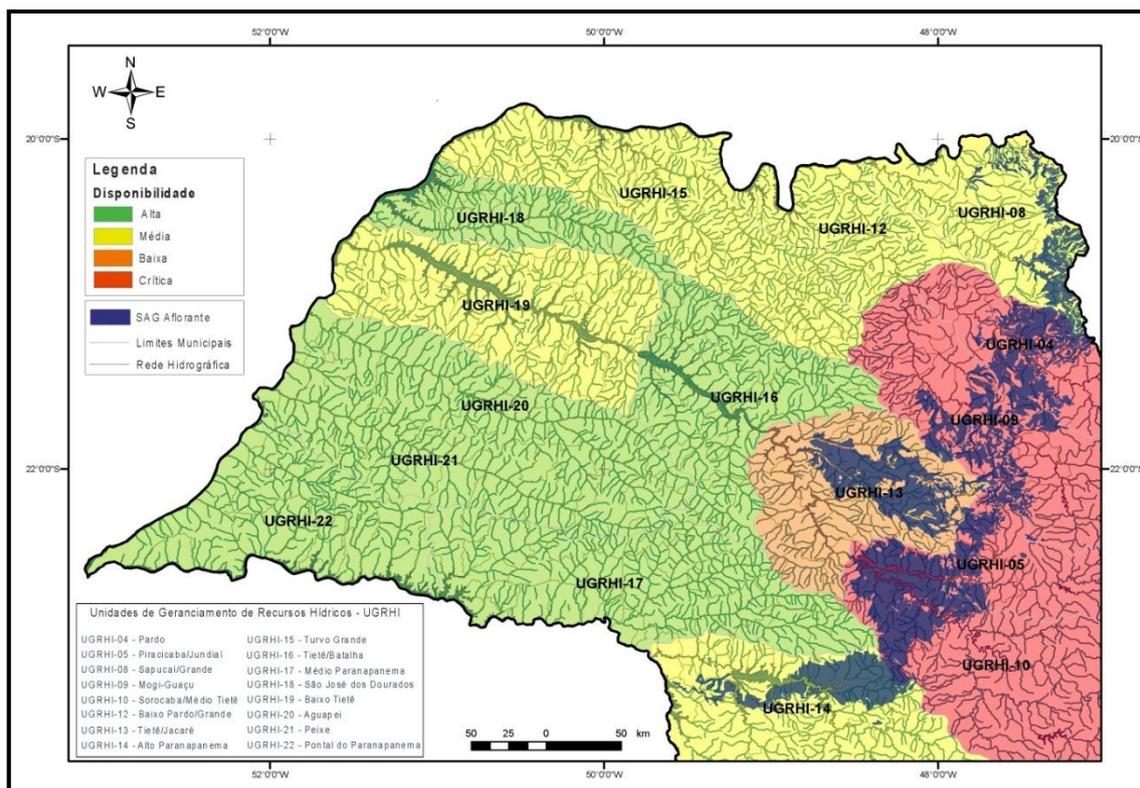
Para a Bacia de Corumbataí em 1988, os meses de maio a setembro foram intensamente atingidos pela falta de chuva, meses este que também se encontram no período de inverno, com isso a recessão se inicia aproximadamente no dia 150 do ano citado e tem seu fim próximo ao dia 270..



**Figura 15 – Vazão diária evidenciando a curva de recessão**  
**Fonte: Autoria Própria**

## 5.2 ANÁLISE DA RESTITUIÇÃO DAS BACIAS

Quando se fala em máximo potencial que teoricamente pode ser explorado é a vazão média de longo período dos rios, que é o escoamento total. A Figura 16 apresenta os resultados da disponibilidade hídrica, segundo a vazão mínima do  $Q_{7,10}$ , que é a vazão mínima anual média para sete dias consecutivos com período de retorno de 10 anos, para a análise da distribuição espacial das demandas globais das águas superficiais na área de estudo.



**Figura 16 - Distribuição espacial da vazão mínima ( $Q_{7,10}$ ), segundo os níveis de disponibilidade por UGRHI.**  
**Fonte: Santos (2009).**

Pela Figura 16 verifica-se que, quatro das Unidade De Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHIs) apresentavam situação crítica, ou seja, quando a soma das vazões captadas em uma determinada bacia hidrográfica, ou em parte dela, supera 50% da vazão mínima. São elas: Pardo, Piracicaba, Mogi-Guaçu, Tietê. O índice crítico mais preocupante é o da UGRHI 5, pois o uso da vazão mínima nesta bacia é superior a 95% do  $Q_{7,10}$ .

As vazões iniciais e finais, o intervalo de tempo em dias e o coeficiente de recessão ( $k$ ) estão dispostos na Tabela 1 e 2, de acordo com os anos de chuva e seca respectivamente de cada bacia.

**Tabela 1: Vazão, intervalo de tempo e coeficiente de recessão (k), em anos de criticidade hídrica.**

Bacias	Ano	Q <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> )	Q(m <sup>3</sup> )	Intervalo de tempo (dias)	K
Tietê	1944	10,98	2,81	220	0,0062
Piracicaba	1944	247,43	29,3	194	0,011
Rio Pardo	1968	140,58	74,52	120	0,0053
Rancho Queimado	1991	1,68	0,91	139	0,0044
Corumbataí	1988	7	2,93	154	0,0057
Mogi Guaçu	1990	126,05	69,31	110	0,0054

**Fonte: Autoria própria.**

**Tabela 2: Vazão, intervalo de tempo e coeficiente de recessão (k), em anos de excedente hídrico.**

Bacias	Ano	Q <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q(m <sup>3</sup> /s)	Intervalo de tempo (dias)	k
Tietê	1952	15,02	2,37	183	0,01009
Piracicaba	1958	175,97	90,56	60	0,011072
Rio Pardo	1965	240	55	140	0,010524
Rancho Queimado	1995	2,86	1,55	154	0,003978
Corumbataí	1983	9,84	6,05	61	0,007974
Mogi Guaçu	1983	402,2	319,64	80	0,002872

**Fonte: Autoria Própria.**

Através do coeficiente de recessão (k) e das vazões iniciais é possível calcular o volume contribuinte de cada bacia para os anos selecionados e também o valor de restituição. O volume calculado é igual ao valor da reserva do aquífero. Para Gonçalves, Scudino e Sobreira (2005) esse volume corresponde ao total infiltrado na bacia e armazenado, acima do nível de base. As Tabelas 3 e 4 apresentam os valores de restituição e volume de cada bacia de cada bacia.

**Tabela 3: Restituição de cada bacia para os anos de criticidade hídrica.**

Bacia	Ano	H(mm)	Volume (m <sup>3</sup> /ano)
Tietê	1944	2,8517	153136125,5
Piracicaba	1944	1,7804	1943869018,0
Rio Pardo	1968	2,1504	2296379972,0
Rancho Queimado	1991	2,3170	32908140,0
Corumbataí	1988	2,1870	106944969,3
Mogi Guaçu	1990	0,1630	2003010059,0

**Fonte: Autoria Própria.**

**Tabela 4: Restituição e Volume de cada bacia para os anos de excedente hídrico.**

Bacia	Ano	H(mm)	Volume (m <sup>3</sup> /ano)
Tietê	1952	2,3950	128613682,1
Piracicaba	1958	1,2578	1373215758,0
Rio Pardo	1965	1,8451	1970426046,0
Rancho Queimado	1995	4,3748	62122241,3
Corumbataí	1983	2,1804	106622140,3
Mogi Guaçu	1983	9,8445	12099919960,2

**Fonte: Autoria Própria.**

A análise final é feita a partir da comparação da chuva que caiu até o Q final, com a restituição, para saber o quando voltou para o volume da bacia como fluxo de base. A Tabela 5 e 6 mostra esses resultados.

**Tabela 5: Restituição da precipitação para os anos de excedente hídrico das bacias selecionadas.**

Bacia	Ano	Precipitação até Q(mm)	H (%)
Tietê	1952	832,4	0,287727
Piracicaba	1958	1024	0,122827
Rio Pardo	1965	1117,5	0,165113
Rancho Queimado	1995	1406,9	0,310954
Corumbataí	1983	1354,3	0,161
Mogi Guaçu	1983	1315,1	0,748574

**Fonte: Autoria Própria.**

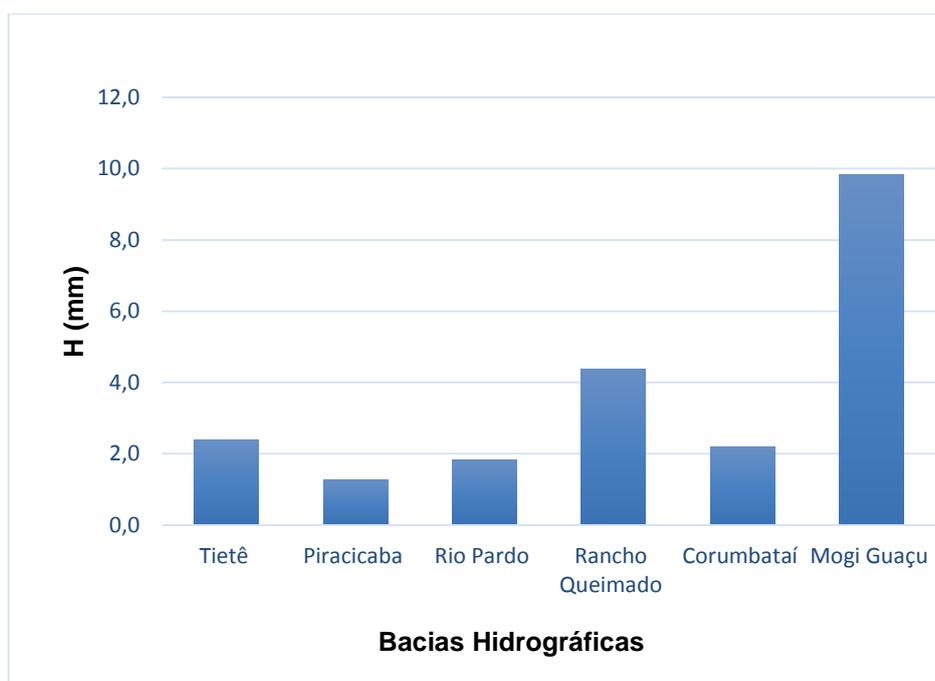
**Tabela 6: Restituição da Precipitação para nos anos de criticidade hídrica das bacias selecionadas.**

Bacia	Ano	Precipitação até Q(mm)	H (%)
Tietê	1944	313,2	0,910504
Piracicaba	1944	452,4	0,393552
Rio Pardo	1968	22,7	9,472996
Rancho Queimado	1991	1006,2	0,230272
Corumbataí	1988	517,4	0,42269
Mogi Guaçu	1990	314,5	0,051819

**Fonte: Autoria Própria.**

Para os anos de baixa pluviosidade, a restituição demonstra-se relativamente maior que os anos de cheia, isso demonstra que o aquífero tem um potencial de conseguir retornar para o seu reservatório uma porção maior de água quando se tem menos chuva, porém, a restituição das bacias selecionadas para o estudo ficam sempre menores que 1% de restituição média anual de pluviometria, tanto nos anos de seca quanto nos anos de cheia.

De acordo com os dados obtidos pelos cálculos, foi possível criar um gráfico que apresente a restituição de cada bacia hidrográfica em anos de excedente e criticidade hídrico como o mostrado na figura 17 e 18.



**Figura 17: Gráfico de restituição em anos de excedente hídrico para as bacias estudadas.**

Fonte: Autoria Própria.

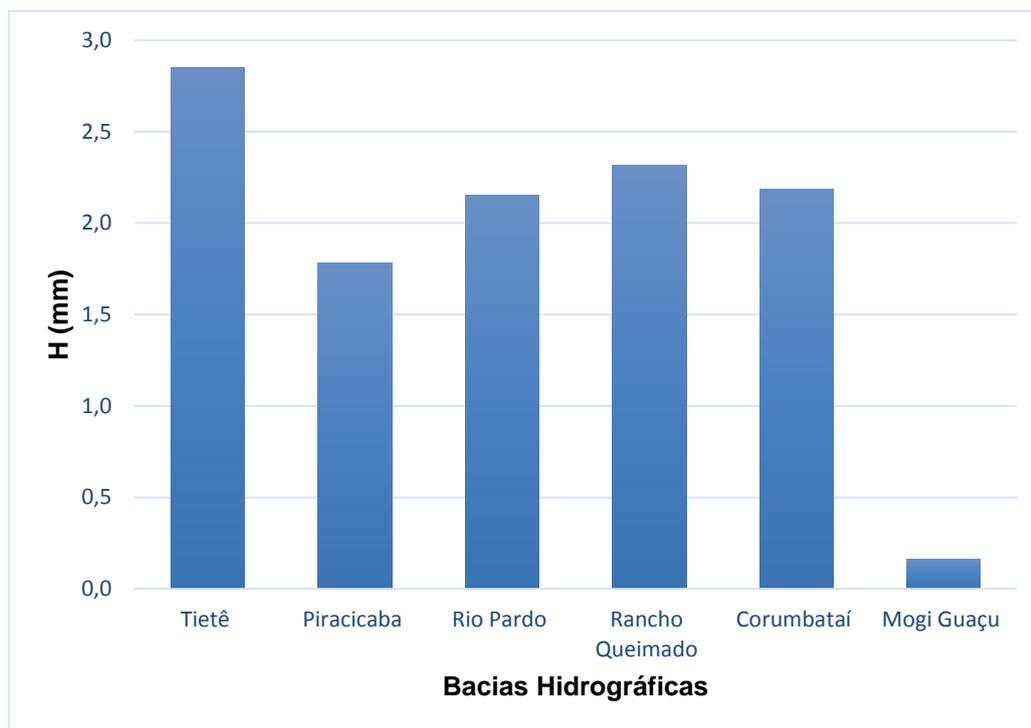


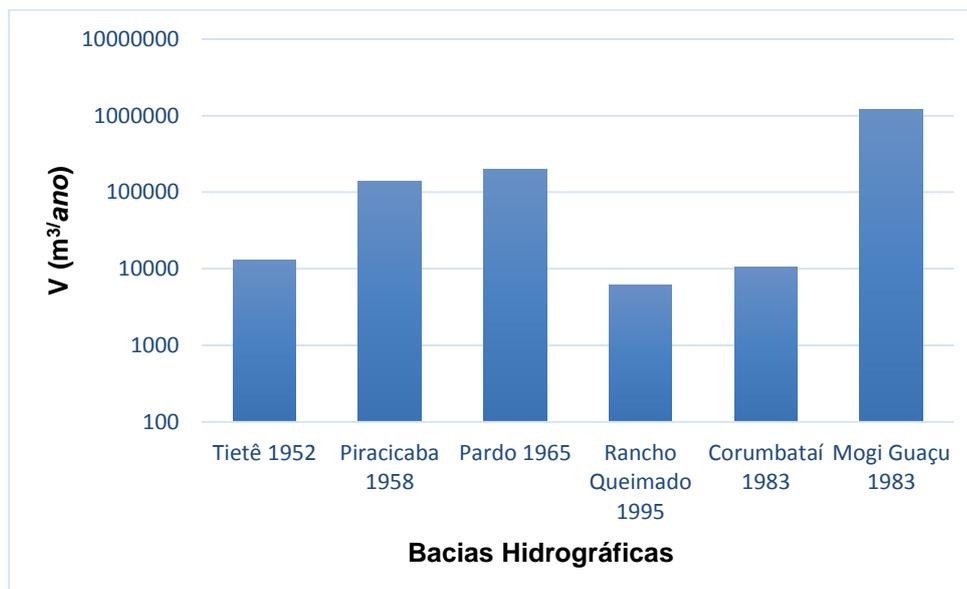
Figura 18: Gráfico de restituição em anos de criticidade hídrica para as bacias estudadas.

Fonte: Autoria Própria.

### 5.3 ANÁLISE DA RESERVA DAS BACIAS

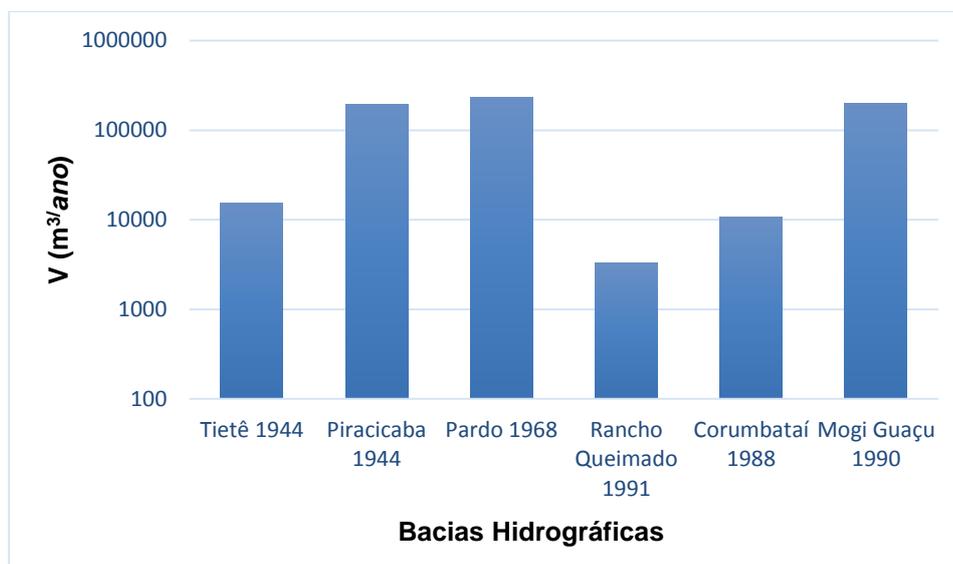
Com base nos resultados obtidos pela pesquisa, é possível se ter o volume das bacias nos anos de cheia/excedente hídrico e seca/criticidade hídrica mostrados nas Figuras 19 e 20. E também, quando se tem o valor da reserva reguladora é possível estimar o quanto se pode explorar de água no aquífero ou na bacia estudada, sem causar impactos ambientais e evitando que o planejamento socioeconômico do município seja prejudicado futuramente.

Nos diferentes locais em que o SAG se encontra, a diversificação de uso e manejo em suas áreas de recarga tem sido muito grande, com o uso agrícola intensivo, pastagens, áreas degradadas, cobertas por vegetações nativas e outras. Com este fato é importante então se conhecer a reserva que se tem para não prejudicar um bem comum a todos.



**Figura 19: Volume calculado de cada bacia estudada nos anos de excedente hídrico.**

Fonte: Autoria Própria



**Figura 20: Volume calculado de cada bacia estudada nos anos de criticidade hídrica.**

Fonte: Autoria Própria

A partir dos dados de restituição calculados para cada bacia estudada, foi possível fazer o cálculo da reserva reguladora do SAG em sua zona de recarga, calculando-se para esse fim o valor de  $H_{\text{médio}}$  e a área das formações

Geológicas do SAG no estado de São Paulo, que, segundo Santos (2009) é de 18.400 km<sup>2</sup>.

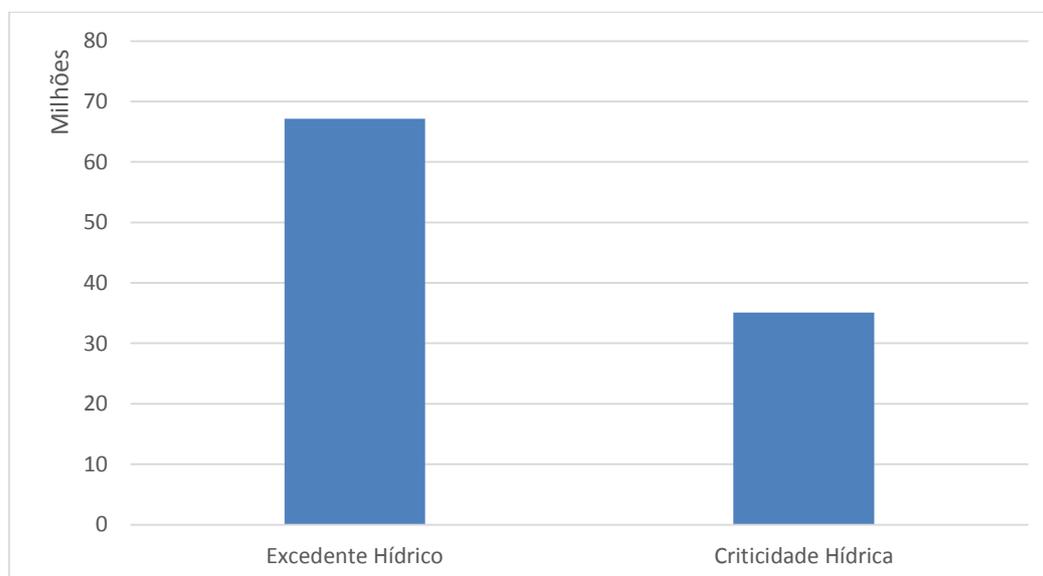
Cabe ainda ressaltar mais uma vez, que a área de afloramento das formações Geológicas do SAG é o local onde a água da chuva atinge a superfície do solo, se infiltra, atravessa a zona não saturada do mesmo e recarrega diretamente o aquífero por entrada da precipitação, assim, o cálculo da reserva reguladora foi feito e mostrado na tabela 7 para as médias dos H nos anos de criticidade e excedente hídrico.

**Tabela 7: Cálculo da Reserva Reguladora do Aquífero**

Respectivo Ano	Reserva Reguladora (m <sup>3</sup> /s)
Excedente Hídrico	67152827,07
Criticidade Hídrica	35111698,8

**Fonte: Autoria Própria.**

Para melhor visualização a Figura 21 mostra os valores comparativos de reserva reguladora.



**Figura 21: Reserva Reguladora do Aquífero Guarani.**  
**Fonte: Autoria Própria**

É notável que o valor da reserva quando se tem um excedente hídrico é relativamente maior que em épocas de seca. Quando se fala em recarga sabe-se que parte da água retorna a superfície na forma de escoamento básico o que assegura a perenidade dos rios, até mesmo em períodos de seca e outra fração da recarga permanece no meio subterrâneo e contribui para a recarga profunda do SAG que forma a reserva, como é mostrado na figura 19, recarga esta que está disponível para a captação, distribuição e ainda outros usos variados (SANTOS, 2009).

## 6 CONCLUSÃO

Por fim, pode-se dizer que o trabalho atingiu os objetivos propostos, e que avaliar a disponibilidade hídrica de um aquífero, obter informações em relação a quantidade de água disponível que se tem no local, é uma tarefa que necessita de muitos dados que algumas vezes estão perdidos em séries históricas e muitas vezes com falhas ou informações perdidas, por isso é preciso se ter a certeza de que esses dados foram escolhidos e analisados com a proposta de se estimar uma reserva que é de confiança.

Foi possível verificar também a importância do Sistema Aquífero Guarani (SAG), o quanto muitos municípios conhecidos e de grande porte dependem do mesmo, alguns municípios dependem exclusivamente desta reserva, sendo assim considerada uma importante área de estudo para avaliar seu potencial.

Diante dos resultados é fácil de se verificar que a precipitação tem relação direta com o fluxo de base, com a restituição, e com o valor da reserva do Aquífero. Sempre em anos de excedente hídrico os valores encontrados foram maiores que os valores em momentos de criticidade hídrica.

Também pode-se perceber que a geologia da região estudada por ser a Formação Serra Geral não permite que a precipitação seja permeabilizada no solo, isso traz valores pequenos de restituição, onde o que é precipitado acaba sendo infiltrado só por algumas pequenas fraturas e o restante da água acaba se perdendo no solo ou por escoamento superficial.

Com isto, este estudo permitiu avaliar a Reserva Reguladora do Aquífero Guarani em São Paulo, estado que está passando por uma grande crise de água, e possibilita se ter o cuidado necessário com a gestão das águas para analisar o quanto se tem de disponibilidade hídrica em épocas de excedente e criticidade hídrica e que pode ser explorado sem prejudicar o aquífero e a disponibilidade de água do mesmo.

## REFERÊNCIAS

Agência Nacional das Águas (ANA), 2014. Disponível em:  
<<http://www2.ana.gov.br/Paginas/institucional/SobreaAna/default.aspx>>.  
Acesso em 15 jun. 2014.

Associação Brasileira de Águas Subterrâneas (ABAS), 2003. Disponível em:  
<<http://www.abas.org/educacao.php>>. Acesso em 10 de jun. 2014.

BORGUETTI, Nádía R. B.; BORGUETTI, José R.; FILHO, Ernani F. da R. **O aquífero guarani.**

BRASIL. Resolução **CONAMA: Classificação e Diretrizes Ambientais para o Enquadramento das Águas Subterrâneas e outras providencias.** Processo nº 02000.003671/2005-71. Disponível em: <  
<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=562> >. Acesso em 26 jun. 2014 as 20h.

BRASIL, Decreto nº 24.643 de 10 de julho de 1934. Decreta o Código de Águas. Disponível em:  
<[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/decreto/D24643.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/D24643.htm)> Acesso em 30 jun. 2014 as 16h.

BRASIL, Lei nº 6.134, de 2 de junho de 1988. **Dispõe sobre a preservação dos depósitos naturais de águas subterrâneas do Estado de São Paulo, e dá outras providências.** Disponível em  
<[http://www.daee.sp.gov.br/images/documentos/legislacaoefins/lei\\_6134.pdf](http://www.daee.sp.gov.br/images/documentos/legislacaoefins/lei_6134.pdf)>.  
Acesso em 25 de mai. 2014.

CAMPOS, Heraldo C. N. S. **Metodologia para estudos da qualidade das águas subterrâneas e sua aplicação para caracterização hidrogeoquímica do Aquífero Guarani.** Terra e didática . vol.9 nº. 2 Campinas, 2013.

CARVALHO, Daniel F. de; SILVA, Leonardo D. B. da. **Hidrologia**, 2006. Disponível em  
<<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap2-CH.pdf> > Acesso em 25 mai. 2014.

CASARINI, Dorothy C. P. **Classificação e Enquadramento das Águas Subterrâneas**. CETESB, São Paulo, 2007.

CELLIGOI, André; DUARTE, Uriel. Determinação da Reserva Reguladora do Aquífero Caiuá no Estado do Paraná utilizando as curvas de recessão no Rio das Antas. **Águas Subterrâneas**, 2009.

CELLIGOI, André; SANTOS, Maurício M. dos. **Utilização da Metodologia de Análise da Curva de Recessão para o Cálculo das Reservas Reguladoras do Aquífero Caiuá na sub-bacia do Rio dos Índios- PR**. XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, 2002.

CETESB - COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Uso das Águas Subterrâneas para Abastecimento Público no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 1997.

CHANG, H. K. Uso Atual e Potencial do Aquífero Guarani – Brasil. In: ARGENTINA/BRASIL/PARAGUAI/URUGUAI/GEF/BANCO/MUNDIAL/OEA. **Proteção ambiental e gerenciamento sustentável integrado do Aquífero guarani**. Atividade 3b: relatório final. Brasil, 2001. 54p.

COSTA, Waldir D. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. Cap. 14. 2 ed. Fortaleza: CPMR, LABHID, 2000.

CHRISTOPHERSON, Robert W. **Geossistemas – Uma introdução a geografia física**. 7ª ed. São Paulo, Bookman, 2009.

EZAKI, S; IRITANI, M. A. **As águas Subterrâneas do Estado de São Paulo**. Governo do Estado de São Paulo. SMA, 2009. P. 16

FEITOSA, Fernando A. C.; MANUEL FILHO, João. **Hidrogeologia – Conceitos e Aplicações**. 2 ed. Fortaleza: CPMR, LABHID, 2000.

FONSECA, Alberto de F. C.; PRADO FILHO, José F. de. Um Importante Episódio na História da Gestão dos Recursos Hídricos no Brasil: O Controle da Coroa Portuguesa Sobre o Uso da Água nas Minas de Ouro Coloniais. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 2006.

GOMES, Marco A. F.; FIZIOLA, Heloisa F.; SPADOTTO, Cláudio A.; PEREIRA, Anderson S. **Caracterização das Áreas de Afloramento do Aquífero Guarani no Brasil - Base para uma Proposta de Gestão Sustentável**. Jun. 2006. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Documentos\\_52IDQ2lyhXURgp.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/recursos/Documentos_52IDQ2lyhXURgp.pdf)> Acesso em 10 out. 2014, 18:00.

GONÇALVES, José Augusto C.; SCUDINO, Paulo C. B.; SOBREIRA, Frederico G. Reservas renováveis e caracterização dos aquíferos fissurais do Leste da Zona da Mata de Minas Gerais e adjacências. **Revista do Instituto de Geociências – USP**, v.5, n.1, jun. 2005.

HONORATO, Thayane Z; **Utilização da curva de recessão na bacia do rio taquara: uma análise metodológica de aplicação na gestão de recursos hídricos subterrâneos**. 2013. 69 f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

KARMAN, Ivo. **Ciclo da Água, água subterrânea e sua ação geológica**, 2ª edição, 2009.

LUCAS, Murilo C. **Influência da precipitação e do uso do solo sobre a taxa de recarga em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani**. Dissertação (Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Carlos, São Carlos, 2012.

MAZIERO, Thiago A.; WENDLAND, Edson. Avaliação da recarga subterrânea de bacias urbanas no município de São Carlos, 2005.

MORAES, Danielle S. de L; JORDÃO, Berenice Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista Saúde Pública**, vol.36 São Paulo, 2002

OLIVEIRA, Luiz A. de; VIEIRA, Andréa S. **Estado da arte do sistema Aquífero Guarani – SAG**. Disponível em: <<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/viewFile/16288/9142>>. Acesso em: 12 fev. 2014, 21:15.

ROSA FILHO, Ernani F. Caracterização da depleção de um aquífero através do coeficiente de descarga,  $\alpha$ , de Maillet. **Boletim Paranaense de Geociências**, 1993.

SANTOS, Maurício M dos; **Gerenciamento de recursos hídricos subterrâneos: uso atual e potencial do sistema aquífero guarani no estado de São Paulo (SP)**. 2009. 306. Tese (geociências e meio ambiente) – Universidade Estadual Paulista. Rio Claro 2009

SISTEMA DE INFORMAÇÕES PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SigRH) – Disponível em < [http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/sigrh\\_carrega.exe?f=/index/informe\\_files/dados\\_daae.html](http://www.sigrh.sp.gov.br/cgi-bin/sigrh_carrega.exe?f=/index/informe_files/dados_daae.html) > Acesso em 15 de jul. de 2014.

SINELLI, O. Análise do nível piezométrico nos últimos 50 anos – Município de Ribeirão Preto (SP). 3º CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, Fortaleza: ABAS. **Anais...** São Paulo, 1984, v. 1, 1984. P 450-462

TEIXEIRA, W. et al. **Decifrando a Terra**. 2. ed [S.l: s.n]

TUNDISI, J. G. Ciclo Hidrológico e Gerenciamento Integrado. **Ciência e Cultura**, v. 55, n. 4, 2003.

USGS: Cience for a changing world . O ciclo da água. Disponível em: < <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleportuguese.html> >. Acesso em 10 nov. 2014.

VARGAS, M. C. **O gerenciamento integrado dos recursos hídricos como problema socioambiental**. Ambiente & Sociedade, 1999.

VICTORINO, Célia J. A. **Planeta Água Morrendo de Sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos**. Porto Alegre: EDIPUCRS, 2007.