

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
TRABALHO DE GRADUAÇÃO

RODRIGO CARRÃO CHELINI

Variabilidade da precipitação pluviométrica e estimativa de recarga do Sistema
Aquífero Guarani: estudo de caso do município de Ribeirão Preto no estado de São
Paulo

Versão Corrigida

São Paulo
2021

RODRIGO CARRÃO CHELINI

Variabilidade da precipitação pluviométrica e estimativa de recarga do Sistema
Aquífero Guarani: estudo de caso do município de Ribeirão Preto no estado de São
Paulo

Versão Corrigida

Trabalho de Graduação Individual apresentada ao
Programa de Graduação em Geografia da Faculdade de
Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de
São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do
título de bacharel em geografia

Orientador: Professor Emerson Galvani

São Paulo

2021

Chelini, Rodrigo Carrão. **Variabilidade da precipitação pluviométrica e estimativa de recarga do Sistema Aquífero Guarani: estudo de caso do município de Ribeirão Preto no estado de São Paulo.** Trabalho de Graduação Integrado (TGI) apresentado à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Bacharel em Geografia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Emerson Galvani

Instituição FFLCH/USP

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. Pedro Augusto Breda Fontão

Instituição UFPR

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. Fernando Nadal Junqueira Villela

Instituição FFLCH/USP

Julgamento _____ Assinatura _____

Dedico este trabalho aos meus pais, Olavo e Elisabeth, minha esposa Michele, meus filhos Manuela e Enzo e meus irmãos, Cauê e Filippo, com amor, admiração e gratidão por seu apoio, carinho e presença ao longo do período de elaboração deste trabalho.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, por ter me concedido saúde e disposição para conseguir entrar na Faculdade, por conseguir estudar na Universidade mais importante de nosso país e conseguir chegar à esta etapa de finalização do curso.

Aos meus pais, irmãos e esposa, por sempre me apoiarem e me incentivarem a estudar.

À Universidade de São Paulo, por me abrir as portas, em especial à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas pela oportunidade de realização do curso.

À Comissão de Graduação do Departamento de Geografia que aceitaram meu pedido de retorno à USP após ter passado longo período longe da faculdade.

A todos os funcionários da Instituição.

A todos os professores durante esta jornada.

E em especial ao Professor Dr. Emerson Galvani pela paciência, compreensão e por nunca ter desistido de me orientar.

Epígrafe

“O mundo é formado não apenas pelo que já existe, mas pelo que pode efetivamente existir”.

Milton Santos

Resumo

CHELINI, Rodrigo Carrão. **Variabilidade da precipitação pluviométrica e estimativa de recarga do Sistema Aquífero Guarani: estudo de caso do município de Ribeirão Preto no estado de São Paulo.** 2021. 135f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

O objetivo deste trabalho foi analisar a variação pluviométrica em um posto pluviométrico localizado no município de Ribeirão Preto, no estado de São Paulo, situado numa área de afloramento e recarga do Sistema Aquífero Guarani, para saber se houve aumento ou diminuição no volume de chuva precipitado nos últimos 60 anos. Avaliar ainda, se a recarga do manancial tem apresentado aumento ou diminuição com o passar dos anos e, desta forma, colaborar com os estudos que visam o uso sustentável destas águas. Os dados pluviométricos foram retirados do sítio eletrônico do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo e, pelo método de análise de séries temporais, dividiu-se a série em dois períodos de trinta anos cada. As médias pluviométricas foram comparadas nas escalas temporais anual, decadal, mensal, sazonal e semestral. Os resultados apontaram aumento na média pluviométrica na escala anual em 7,2%. O verão ficou mais chuvoso em 14,8% e o inverno ficou ainda mais seco, em 25,1%. O semestre mais chuvoso ficou ainda mais chuvoso em 9,9% e o semestre menos chuvoso ficou ainda mais seco em 4,6%. O mês de janeiro ficou mais chuvoso em 30% e junho ficou menos chuvoso em 39,7%. Na escala decadal, o estudo mostra que, desde a década de 70, a média pluviométrica vem sofrendo diminuição sucessiva. Por fim, foi feita uma estimativa da recarga nesta região, baseando-se em estudos feitos pela Fundação para o Incremento da Pesquisa e Aperfeiçoamento Industrial. Os resultados foram semelhantes aos estimados pela referida Fundação. Assim como ocorreu com a precipitação, o estudo concluiu aumento na recarga em aproximadamente 7% na comparação dos dois períodos de trinta anos. Todavia, na escala de décadas, percebe-se claramente uma diminuição sucessiva na recarga desde a década de 70.

Palavras Chave: Variação pluviométrica. Ribeirão Preto. Sistema Aquífero Guarani. Recarga.

Abstract

CHELINI, Rodrigo Carrão. **Variability of rainfall and recharge estimate of the Guarani Aquifer System: a case study of the municipality of Ribeirão Preto in the state of São Paulo.** 2021. 135f. Trabalho de Graduação Individual (TGI) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

The objective of this work was to analyze the rainfall variation in a rainfall station located in the municipality of Ribeirão Preto in the state of São Paulo, situated in an area of outcrop and recharge of the Guarani Aquifer System, to know whether there was an increase or decrease in the volume of precipitated rain over the past 60 years. Evaluate yet, if the recharge underground water source has increased or decreased over the years, and, this way, collaborate with the studies have the purpose sustainable use of these waters. The rainfall data were obtained of the website Integrated Water Resources Management System of the State of São Paulo, and, by the time series analysis method, the series was divided into two periods of thirty years each. The rainfall averages were compared on the annual, decadal, monthly, seasons and half-yearly time scales. The results showed an increase in the average rainfall on the annual scale by 7.2%. The summer was rainier at 14.8% and the winter was even drier at 25.1%. The rainiest semester was even more rainy at 9.9% and the less rainy semester was even drier at 4.6%. The month of January was rainier by 30% and June was less rainy by 39.7%. On the decadal scale, the study shows that since the 70s, the rainfall average has been decreasing successively. Finally, an estimate of the recharge in this region was made, based on studies carried out by the Foundation for the Increment of Research and Industrial Improvement. The results were similar to those estimated by the referred Foundation. As with precipitation, the study found an increase in recharge by approximately 7% when comparing the two thirty-year periods. However, on the scale of decades, there is clearly a successive decrease in recharge since the 1970s.

Key words: Rainfall variation. Ribeirão Preto. Guarani Aquifer System. Recharge.

Lista de Figuras

Figura 1	Representação genérica da área de estudo.....	22
Figura 2	Bacia Hidrográfica do Rio Pardo.....	23
Figura 3	UGRHI – 04.....	25
Figura 4	Sub bacia do Ribeirão da Prata/ Ribeirão Tamanduá.....	25
Figura 5	Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo.....	26
Figura 6	Mapa Climatológico do Estado de São Paulo - Climatologia Tradicional...	27
Figura 7	Esquema representativo das feições climáticas individualizadas no território paulista dentro das Células Climáticas Regionais e das articulações destas nas Faixas Zonais, com a área da bacia do Pardo e seu entorno em destaque – Climatologia Dinâmica.....	28
Figura 8	Distribuição da Chuva Anual Média na Bacia do Pardo (1967-1994)	29
Figura 9	Flutuações Anuais do Balanço Hídrico no Estado de São Paulo.....	30
Figura 10	Extrato do Balanço Hídrico Mensal em Ribeirão Preto.....	31
Figura 11	Localização do Aquífero Guarani.....	32
Figura 12	Aquífero Guarani – Áreas Afloradas e Áreas Confinadas.....	33
Figura 13	Ocorrência do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo.....	34
Figura 14	Representação Esquemática da Localização de Ribeirão Preto em Área Aflorada do Sistema Aquífero Guarani.....	35
Figura 15	Domínios Pedomorfoagroclicmáticos das Áreas de Recarga do SAG.....	36
Figura 16	Área de Proteção e Recuperação de Mananciais.....	37
Figura 17	Sistema de Aquíferos na UGRHI – 04.....	38
Figura 18	Unidades Aquíferas do Estado de São Paulo.....	54
Figura 19	Unidades Estratigráficas componentes do Sistema Aquífero Guarani e da Bacia do Paraná em perfil E-W	55
Figura 20	Zonas de Afloramento, Zonas de Confinamento e Zonas de Forte Confinamento do Sistema Aquífero Guarani.....	57
Figura 21	Área de Afloramento do SAG na área urbana do município de Ribeirão Preto e no seu entorno.....	58
Figura 22	Geologia e corte da região de estudo.....	60

Figura 23	Poços perfurados no Sistema Aquífero Guarani na UGRHI-04 e nos municípios adjacentes a Bacia.....	67
Figura 24	Mapa de localização dos postos de monitoramento pluviométrico do SIGRH na UGRHI – 04.....	72
Figura 25	Foto de um pluviômetro modelo Ville de Paris.....	73
Figura 26	Representação esquemática do funcionamento de um pluviômetro.....	73
Figura 27	Representação esquemática de como é medido o volume de chuva.....	74
Figura 28	Foto aérea representando a localização do posto pluviométrico estudado e dos postos pluviométricos utilizados para correção das falhas.....	78
Figura 29	Gráfico de Dispersão representando a Reta de Regressão Linear do primeiro dia com falha.....	82
Figura 30	Pluviograma dos totais anuais da série histórica (1951-2010)	89
Figura 31	Pluviograma dos totais anuais da primeira série (1951-1980)	90
Figura 32	Pluviograma dos totais anuais da segunda série (1981-2010)	91
Figura 33	Comparação das médias anuais pluviométricas dos dois períodos de 30 anos.....	92
Figura 34	Médias anuais de precipitação (escala de décadas)	93
Figura 35	Histograma da média mensal (1951-2010)	94
Figura 36	Histograma comparativo entre as médias mensais dos dois períodos.....	94
Figura 37	Percentual da distribuição sazonal da precipitação pluviométrica (1951-2010)	96
Figura 38	Comparação das médias sazonais de precipitação.....	97
Figura 39	Distribuição semestral da precipitação pluviométrica (1951-2010)	98
Figura 40	Comparação das médias pluviométricas do semestre mais chuvoso.....	99
Figura 41	Comparação das médias pluviométricas do semestre menos chuvoso.....	99
Figura 42	Precipitação e estimativa de recarga (1951-2010)	101
Figura 43	Estimativa de variação da recarga.....	103
Figura 44	Estimativa de recarga na escala de décadas.....	104

Figura 45	Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear na falha do dia 07-02-1983.....	130
Figura 46	Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear nas falhas dos dias 27 e 29-06-1983.....	131
Figura 47	Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear na falha do dia 31-01-1991.....	131
Figura 48	Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear na falha do dia 29-02-1992.....	132
Figura 49	Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear na falha do dia 01-01-2005.....	132
Figura 50	Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear nas falhas dos dias 26, 27, 28, 29 e 30-09-2006.....	133
Figura 51	Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear na falha do dia 25-12-2008.....	133
Figura 52	Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear na falha do dia 03-10-2010.....	134
Figura 53	Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear nas falhas dos dias 24 e 25-12-20101.....	134

Lista de Tabelas

Tabela 1	Identificação dos dias com falhas.....	75
Tabela 2	Identificação dos postos utilizados na correção das falhas.....	77
Tabela 3	Correção do primeiro dia com falha (15 de janeiro de 1980)	80
Tabela 4	Coeficiente de Pearson dos 16 dias com falhas.....	83
Tabela 5	Representação do aumento do volume pluviométrico diário após a correção das falhas.....	84
Tabela 6	Representação do aumento do volume pluviométrico mensal após a correção das falhas.....	85
Tabela 7	Tabela base representando a série histórica após a correção das falhas.....	86
Tabela 8	Variação Percentual das Médias Mensais.....	95
Tabela 9	Variação Percentual das Médias Sazonais.....	97
Tabela 10	Estimativa e Variação da Recarga.....	102
Tabela 11	Aplicação do Coeficiente de Pearson na falha do dia 07-02-1983.....	121
Tabela 12	Aplicação do Coeficiente de Pearson nas falhas dos dias 27 e 29-06-1983.....	122
Tabela 13	Aplicação do Coeficiente de Pearson na falha do dia 31-01-1991.....	123
Tabela 14	Aplicação do Coeficiente de Pearson na falha do dia 29-02-1992.....	124
Tabela 15	Aplicação do Coeficiente de Pearson na falha do dia 01-01-2005.....	125
Tabela 16	Aplicação do Coeficiente de Pearson nas falhas dos dias 26, 27, 28, 29 e 30-09-2006.....	126
Tabela 17	Aplicação do Coeficiente de Pearson na falha do dia 25-12-2008.....	127
Tabela 18	Aplicação do Coeficiente de Pearson na falha do dia 03-10-2010.....	128
Tabela 19	Aplicação do Coeficiente de Pearson nas falhas dos dias 24 e 25-12-2010.....	129

Lista de abreviaturas e siglas

ANA – Agência Nacional de Águas

APRM – Área de Proteção e Recuperação de Mananciais

BHRP – Bacia Hidrográfica do Rio Pardo

CBH - Comitê de Bacia Hidrográfica

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DAEE – Departamento de Águas e Energia Elétrica

DAERP – Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto

ENOS - El-Niño Oscilação Sul

ESALQ – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz

FIPAI – Fundação para o Incremento da Pesquisa e Aperfeiçoamento Industrial

IAG-USP - Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da
Universidade de São Paulo

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IG – Instituto Geológico

IGAM - Instituto Mineiro de Gestão das Águas

IPCC - Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

OEA – Organização dos Estados Americanos

OMM – Organização Meteorológica Mundial

PMRP – Prefeitura Municipal de Ribeirão Preto

S/A – Sem Ano

SAG – Sistema Aquífero Guarani

SEMAD - Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável

UGRHI – Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

WCED - World Commission on Environment and Development

ZA – Zona de Afloramento

ZC – Zona de Confinamento

ZFC – Zona de Forte Confinamento

SMA/São Paulo & StMUGV/Baviera - Sistema de Informação para o gerenciamento ambiental dos recursos hídricos subterrâneos na área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo. Projeto em cooperação com a Secretaria de Meio

Ambiente, Saúde Pública e Proteção ao Consumidor do Estado da Baviera
(Alemanha)

Sumário

1. Introdução.....	16
2. Objetivos.....	19
2.1 Objetivo geral.....	19
2.2 Objetivos específicos.....	19
3. Justificativa.....	20
4. Área de estudo.....	22
4.1 O município de Ribeirão Preto e sua área de afloramento.....	22
4.2 Região hidrográfica.....	23
4.3 Geomorfologia.....	26
4.4 Clima.....	26
4.5 Cobertura Vegetal.....	29
4.6 Solos e aspectos socioeconômicos.....	29
4.7 O Sistema Aquífero Guarani (SAG).....	32
5. Referencial Teórico.....	39
5.1 O caráter integrador da Geografia.....	39
5.2 Teoria Geográfica da Paisagem.....	40
5.3 Geodiversidade e o desenvolvimento sustentável.....	42
5.4 O clima e a precipitação.....	43
5.5 Climatologia e suas diferentes metodologias.....	46
5.6 Dados confiáveis e variabilidade climática.....	51
5.7 Conceitos e formações que envolvem o SAG.....	53
5.8 Processo e estimativa de recarga.....	60
5.9 Exploração do aquífero e problemas associados.....	64
6. Metodologia, material e procedimentos.....	71
6.1 A escolha do posto pluviométrico.....	71
6.2 Localização do posto pluviométrico.....	72
6.3 Funcionamento de um pluviômetro.....	72
6.4 Identificando as falhas.....	74
6.5 Suprindo as falhas.....	76
7. Resultados e discussão.....	89
7.1 Análise da variabilidade pluviométrica em escala anual.....	89
7.2 Análise da variabilidade pluviométrica em escala decadal.....	92

7.3 Análise da variabilidade pluviométrica em escala mensal.....	93
7.4 Análise da variabilidade pluviométrica em escala sazonal.....	95
7.5 Análise da variabilidade pluviométrica em escala semestral.....	98
7.6 Estimando a recarga.....	100
8. Conclusão.....	105
9. Considerações finais.....	107
10. Referências Bibliográficas.....	108
Apêndice A.....	121
Apêndice B.....	130

1. Introdução

O homem, disposto em sociedade, vem ao longo do tempo organizando e produzindo seu espaço, de acordo com seus interesses de sobrevivência e conforme as possibilidades oferecidas pela natureza.

Segundo Conti (2002, p. 205), “a geografia é justamente isso. É o estudo do homem enquanto habitante do planeta, ou a relação da sociedade com o seu meio, e os arranjos espaciais que derivam desse processo interativo.”

O clima é parte da natureza, compõe o meio ambiente e influencia a sociedade assim como também é influenciado por ela. Para Christofolletti¹(1993 apud COELHO; SOUZA, 2014, p. 287)

O Clima é considerado como o elemento condicionador da dinâmica do meio ambiente, pois exerce influência direta tanto nos processos de ordem física quanto biológica, assim como na sociedade de modo geral, constituindo-se, portanto, em um recurso essencial para a vida e para as atividades humanas.

As modificações que são feitas pelo homem na cobertura do solo, principalmente na retirada da vegetação nativa para a prática da agricultura, pecuária e urbanização alteram o clima, mudam o “comportamento da camada inferior da atmosfera, afetando o regime hídrico das precipitações pluviais e da disponibilidade de água no solo” (SANT’ANNA NETO, 1999, p. 915).

Além disso, o aumento na temperatura média do planeta em escala global se dá de forma desigual na escala regional, afetando o ciclo hidrológico de forma distinta em cada região do planeta. Ou seja, enquanto em alguns lugares a precipitação pluviométrica tem tendência em aumentar, em outros a tendência é chover cada vez menos (ANA, 2016).

Estudos apontam que no estado de São Paulo houve aumento considerável de pluviosidade em quase todo o estado, todavia, em algumas áreas a tendência se mostrou negativa, e em outras, estável (SANT’ANNA NETO, 1999). Assim, pesquisas pontuais sobre mudanças climáticas podem ser úteis, sobretudo se a precipitação pluvial neste lugar for tão essencial.

¹ CHRISTOFOLETTI, A. Implicações climáticas relacionadas com as mudanças climáticas globais. Boletim de Geografia Teórica. Rio Claro, vol. 23, n. 45-46, p. 18- 31, 1993

É o caso do município de Ribeirão Preto que, com uma população que cresce rapidamente, é o oitavo município mais populoso do estado de São Paulo, com 711 mil habitantes, aproximadamente (IBGE, 2021). Este município possui, em 137 km², ou 21% de seu território, localizado sobre uma área aflorada do Sistema Aquífero Guarani (SAG) (VILLAR; RIBEIRO, 2009).

Ou seja, as águas deste manancial subterrâneo estão pouco profundas, próximas à superfície, o que facilita sua retirada para consumo. O SAG é considerado um dos mais importantes mananciais subterrâneos de água potável do mundo e é o responsável pelo abastecimento desta população. Estas águas são mais limpas do que as de mananciais superficiais e o sistema de captação, mais barato (SANTOS et al., 2008).

Todavia, estudos confirmam alto teor de flúor em águas subterrâneas no estado de São Paulo, o que gera preocupação, pois este elemento químico em excesso, pode causar sérios danos à saúde (EZAKI et al., 2016). Outro problema é a expansão da área urbana, ocasionando em impermeabilização do solo. Sabe-se que em aproximadamente 40% da área aflorada já está urbanizada (CAVICCHIA, 2007), e que “A parte leste da área urbanizada de Ribeirão Preto está localizada na área de afloramento do Aquífero Guarani” (CAVICCHIA, 2007, p. 39). Na área rural, a preocupação é com as plantações, principalmente de cana-de-açúcar, que geram risco de contaminação destas águas por seus resíduos, assim como os agrotóxicos (GOMES; FILIZOLA; SPADOTTO, 2006).

Ribeirão Preto é o município brasileiro que mais se utiliza destas águas. (ANA, 2019). De acordo com o (DAERP, 2021), são 118 poços tubulares profundos responsáveis por todo o abastecimento público da cidade. No entanto, há um número não conhecido de poços particulares e clandestinos que exploram, sem controle, este manancial (PMRP, 2019). Logo, o consumo chega a ser treze vezes superior à recarga da chuva (VILLAR; RIBEIRO, 2009).

Nesta área também ocorre a recarga direta do SAG, feita, principalmente, pela água que se precipita diretamente sobre a área aflorada. No entanto, na região de Ribeirão Preto, apenas 4,7% da precipitação chega até o manancial para recarregá-lo (FIPAI, 1996).

Sabemos que as bacias hidrográficas são delimitadas a partir dos cursos d'água superficiais, no entanto, seus divisores de água nem sempre correspondem com os limites das águas subterrâneas. Assim, de modo semelhante, existem as

bacias hidrográficas subterrâneas que, a partir das linhas equipotenciais, os divisores das bacias seriam pontos onde não existem conexão entre os aquíferos (CLEARY, 2007).

Contudo, o processo de recarga e bombeamento das águas subterrâneas podem modificar esses limites. Deste modo, a análise local, em nível de bacia ou sub bacia hidrográfica pode ser eficiente, pois as dificuldades e o entendimento da dinâmica subterrânea acontecem localmente. (SANTOS, 2018, p. 20).

Dado o contexto, um estudo pontual sobre a precipitação pluvial nesta área pode ser muito importante (ANA, 2016). Saber se houve alguma variação significativa no comportamento da precipitação pluvial aqui, pode ajudar a entender se a fonte de recarga do manancial veio aumentando ou diminuindo no transcorrer do tempo e, com isso, ajudar no planejamento hídrico da região.

2. Objetivos

2.1 Objetivo geral

O objetivo desta pesquisa foi tentar descobrir se o volume da precipitação pluviométrica aumentou ou diminuiu, e estimar a recarga, do Sistema Aquífero Guarani, no município de Ribeirão Preto, no estado de São Paulo, colaborando, desta forma, com os estudos que visam o uso sustentável destas águas.

2.2 Objetivos específicos

- Encontrar um posto pluviométrico localizado na área de estudo, com uma série histórica de dados de sessenta anos e com a menor quantidade de falhas possível;
- Corrigir as falhas dos dias em que não houve registro de medição da precipitação;
- Tentar descobrir se houve aumento ou diminuição das médias pluviométricas em diferentes escalas temporais de análise.
- Estimar a recarga no SAG.

3. Justificativa

A localização diferenciada de situar-se sobre uma área de afloramento do SAG, faz com que a população de Ribeirão Preto se utilize das águas deste manancial para abastecer-se. Graças à maior proteção natural dos aquíferos à contaminação, estas águas são mais limpas do que as superficiais e o sistema de captação mais barato (SANTOS et al., 2008).

Entretanto, dados do (IBGE, 2021) mostram que esta população está crescendo em ritmo acelerado. Enquanto em 2010 era de 604.682 habitantes, a estimativa para 2020 é de 711.825 habitantes. Aproximando os dados, podemos dizer que foi um salto de 100 mil habitantes em 10 anos, o que dá, aproximadamente, um crescimento de 10 mil habitantes por ano.

O SAG é o único manancial responsável pelo abastecimento desta população, e este aumento populacional acarreta aumento da demanda, gerando situações de superexploração das águas subterrâneas, podendo provocar efeitos sociais, econômicos e ambientais, cujo balanço final é negativo à sociedade atual e às futuras gerações (SANTOS et al., 2008). Perticarrari² (2003 apud VILLAR; RIBEIRO, 2009, p. 55) afirma que

[...] A busca por água, aliada à falta de uma política de gestão, gerou um rebaixamento dos níveis dinâmicos do aquífero na porção urbana de aproximadamente 60 metros. A exploração hídrica atualmente é de 95.700.000 m³, treze vezes superior à recarga da chuva.

A precipitação pluvial é a maior responsável por recarregar o SAG. A água da chuva que se precipita sobre a área de afloramento, infiltra no solo até chegar no manancial subterrâneo. Todavia, sabemos que o clima não é estável devido a processos da própria natureza. Além disso, o homem influencia no clima local quando altera os usos do solo. Soma-se a isso, indícios de que venha ocorrendo mudanças climáticas devido ao aumento da temperatura média do planeta. Como o ciclo hidrológico vincula-se diretamente às mudanças de temperatura da atmosfera, as consequências esperadas, com o aquecimento global, são mudanças nos padrões de

² PERTICARRARI, C. Plano de bacia do Rio Pardo. In: DAEE/IG. (org.). Memória seminário aquífero Guarani. Anais. Ribeirão Preto: DAEE, 2003, p. 90-95.

precipitação. Entretanto, assim como acontece com a temperatura, as mudanças na precipitação variam em cada região. (ANA, 2016).

Portanto, faz-se necessária uma análise pontual da variação da precipitação nesta área. Logo, este trabalho considerou a precipitação pluvial como um insumo (SANT'ANNA NETO, 2001), pois fornece a água que recarrega o aquífero subterrâneo, o que faz, dos habitantes desta região, serem plenamente dependentes deste elemento climático.

Portanto, saber se houve aumento no volume precipitado ou diminuição ao longo dos anos, pode ajudar a planejar melhor os recursos hídricos nesta área, visando estabelecer uma exploração mais adequada do aquífero, buscando ampliar o desenvolvimento econômico e social na região, sem comprometer a qualidade ambiental, conservando este recurso para as gerações futuras.

Obviamente, para esta população, seria interessante se a fonte estivesse aumentando. Por outro lado, seria preocupante saber que a precipitação vem diminuindo com o passar dos anos. Sendo assim, a análise de dados pluviométricos no decorrer do tempo pode ajudar a descobrir.

4. Área de estudo

4.1 O município de Ribeirão Preto e sua área de afloramento

O posto pluviométrico do presente estudo representa a área do município de Ribeirão Preto localizada sobre área de afloramento e recarga do SAG.

O município de Ribeirão Preto está localizado no nordeste paulista, a 313 km da capital paulista (VILLAR; RIBEIRO, 2009), sendo sua região central localizada a uma altitude de 544,8m (média de 518m) com latitude 21° 10' 42" Sul e longitude 47° 48' 24" Oeste (NASIMENTO; NERY, 2005).

Sua população gira em torno de 711 mil habitantes (IBGE, 2021). Possui uma área territorial de 651 km² (IBGE, 2021), da qual o SAG está presente em 137 km², aproximadamente 21% do território (VILLAR; RIBEIRO, 2009).

Dos 137 km² de afloramentos do Aquífero Guarani no município de Ribeirão Preto, aproximadamente 40% encontram-se urbanizados (CAVICCHIA, 2007). Já a parte confinada do aquífero, no município, encontra-se coberta principalmente pelos basaltos da Formação Serra Geral. A figura 1 representa genericamente a área de estudo.

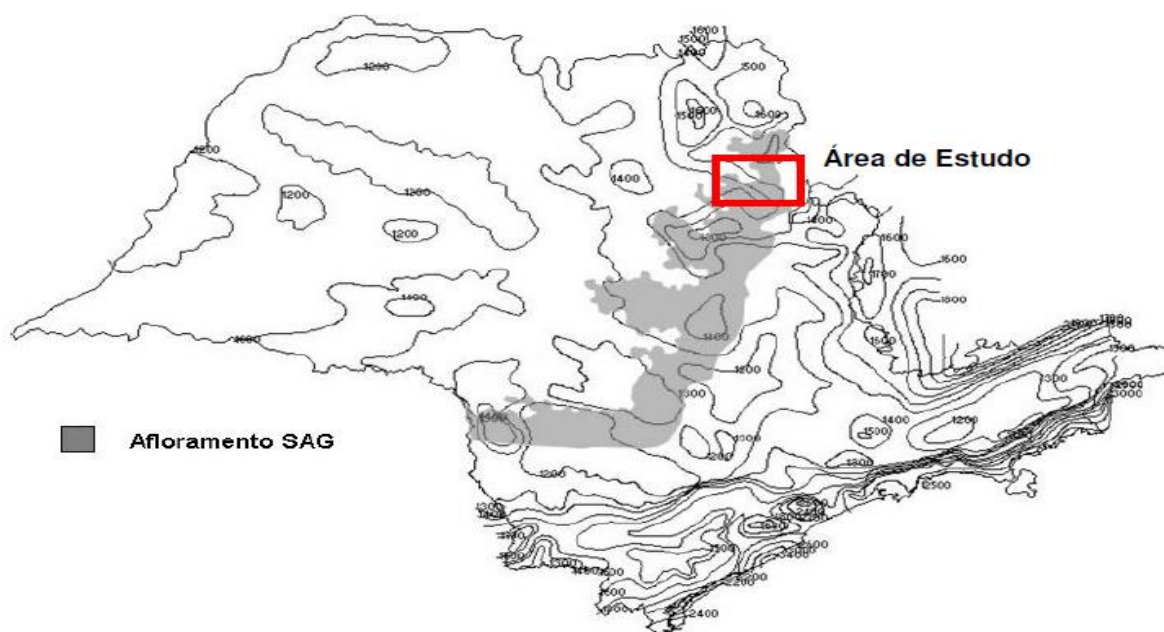


Figura 1: Representação genérica da área de estudo
Fonte: Santos et al., 2008

4.2 Região hidrográfica

O município de Ribeirão Preto insere-se na bacia hidrográfica do rio Pardo (BHRP). Esta bacia encontra-se inserida no setor nordeste do estado de São Paulo e sul/sudoeste de Minas Gerais, especificamente entre os paralelos, aproximados, de 20° e 23° latitude Sul e 46° e 49° longitude Oeste, conforme a figura 2, e possui área total aproximada de 35.720 km² (FONTÃO, 2014).

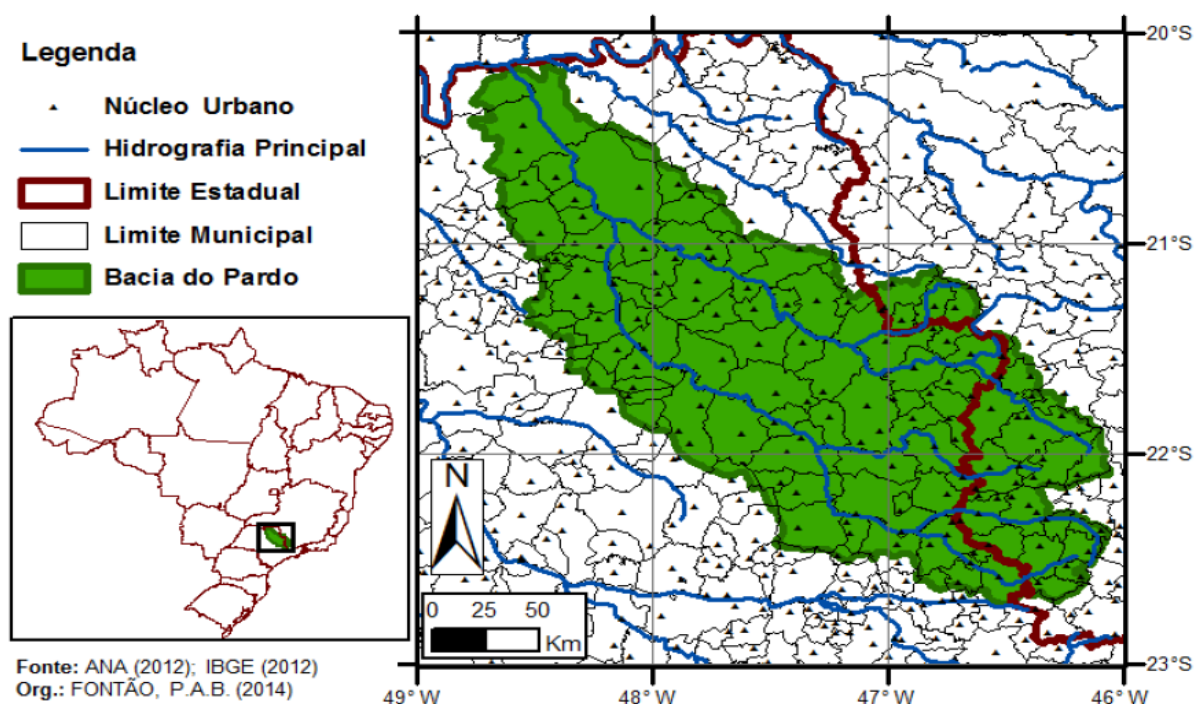


Figura 2: Bacia Hidrográfica do Rio Pardo
Fonte: (FONTÃO, 2014)

O Rio Pardo nasce no município de Ipuina no estado de Minas Gerais, na serra do Cervo, Serra da Mantiqueira, no Planalto Sul de Minas e dirige-se para o rio Grande acompanhando a inclinação do relevo (SAMPAIO, 2012). Seu curso total é de 573 km (FONTÃO, 2014), sendo que 84% desenvolvem-se no estado de São Paulo (SAMPAIO, 2012). “É o maior afluente do rio Grande pela margem esquerda” (SAMPAIO, 2012, p. 40).

Corta o norte do município de Ribeirão Preto e após receber as águas do rio Mogi-Guaçu, seu maior afluente, aumenta seu volume e se transforma num dos principais tributários do rio Grande, desaguando neste rio na divisa entre estes dois estados, no município de Colômbia – SP (FONTÃO, ZAVATTINI, 2014).

O rio Pardo possui três importantes reservatórios, utilizados para abastecimento de água da população e geração de energia hidrelétrica sendo as Usinas Hidroelétricas de Graminha, no município de Caconde, Euclides da Cunha, no município de São José do Rio Pardo e Armando de Sales Oliveira, também conhecido por Limoeiro, no município de Mococa, todos no estado de São Paulo (MACEDO, 2013).

“Esta bacia é um importante polo agropecuário do sudeste brasileiro, com destaque na produção em nível nacional” CPRM³ (2002 apud FONTÃO; ZAVATTINI, 2014, p. 145) e na qual, estão localizadas importantes cidades brasileiras, como Ribeirão Preto e Barretos no estado de São Paulo e Poços de Caldas no estado de Minas Gerais (FONTÃO, ZAVATTINI, 2014).

No Estado de São Paulo, a área de estudo é classificada atualmente como pertencente à Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos 4 (UGRHI 4 – Pardo) (figura 3), sub-bacia do Ribeirão da Prata/Ribeirão Tamanduá (figura 4). Segundo o estudo de IG/CETESB/DAEE⁴ (1997, apud CAVICCHIA, 2007, p. 35),

a região é considerada uma das áreas críticas em termos de risco de poluição da água subterrânea em função da alta vulnerabilidade natural dos aquíferos, em especial o Aquífero Guarani.

³ CPRM. Atlas geoambiental das bacias hidrográficas dos rios Mogi Guaçu e Pardo - SP: subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental. São Paulo: CPRM, 2002. p. 1-77.

⁴ IG – Instituto Geológico/CETESB – Companhia De Tecnologia De Saneamento Ambiental/DAEE – Departamento De Águas E Energia Elétrica, 1997. Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo. São Paulo, 2 volumes.

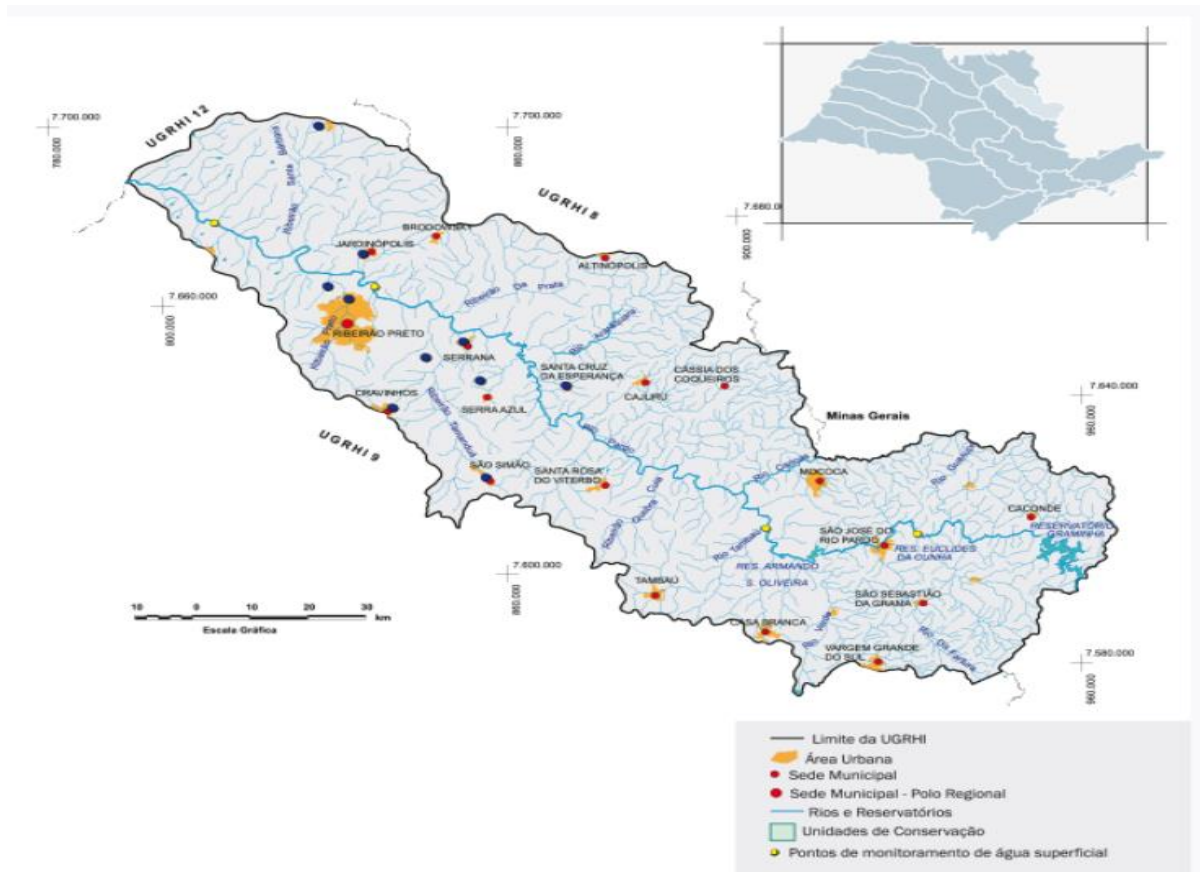


Figura 3: UGRHI-04
Fonte: (SIGRH, 2017)

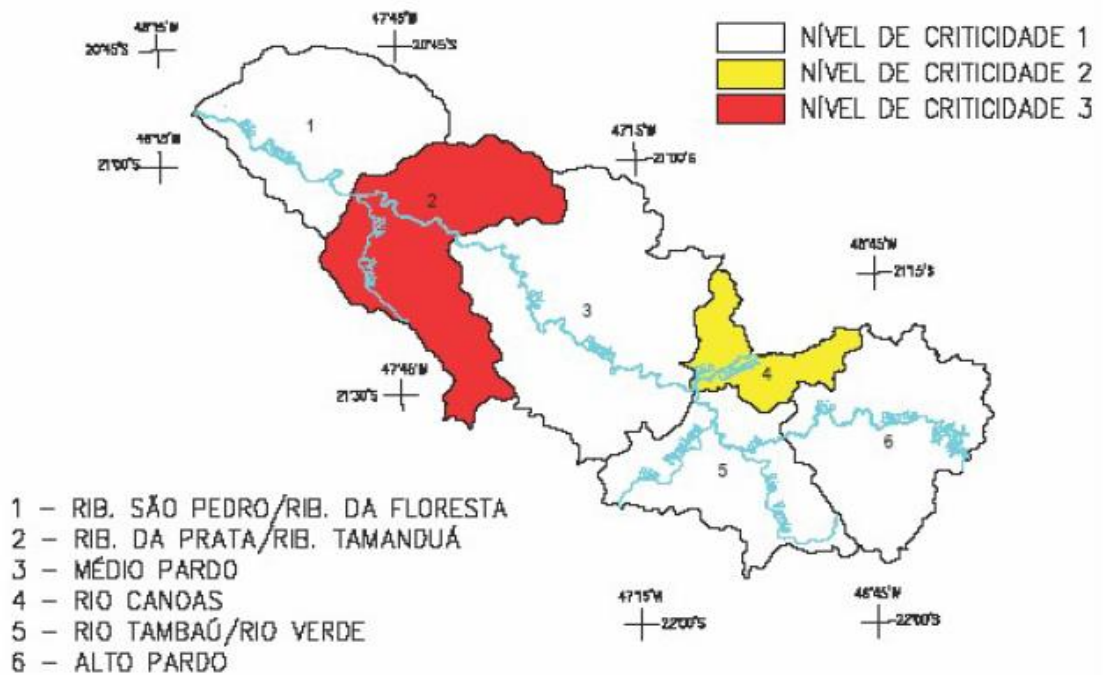


Figura 4: Nível de criticidade das sub bacias da UGRHI 4 – Pardo (IPT, 2000). Sub bacia do Ribeirão da Prata/Ribeirão Tamanduá.
Fonte: (CAVICCHIA, 2007)

4.3 Geomorfologia

A figura 5 representa o mapa geomorfológico do estado de São Paulo. O município de Ribeirão Preto, está localizado na Bacia Sedimentar do Paraná, no Planalto Ocidental Paulista, Planalto em Patamares Estruturais de Ribeirão Preto. Apresenta um relevo não muito acidentado, com pequenos declives em terrenos argilosos e ondulações naturais.

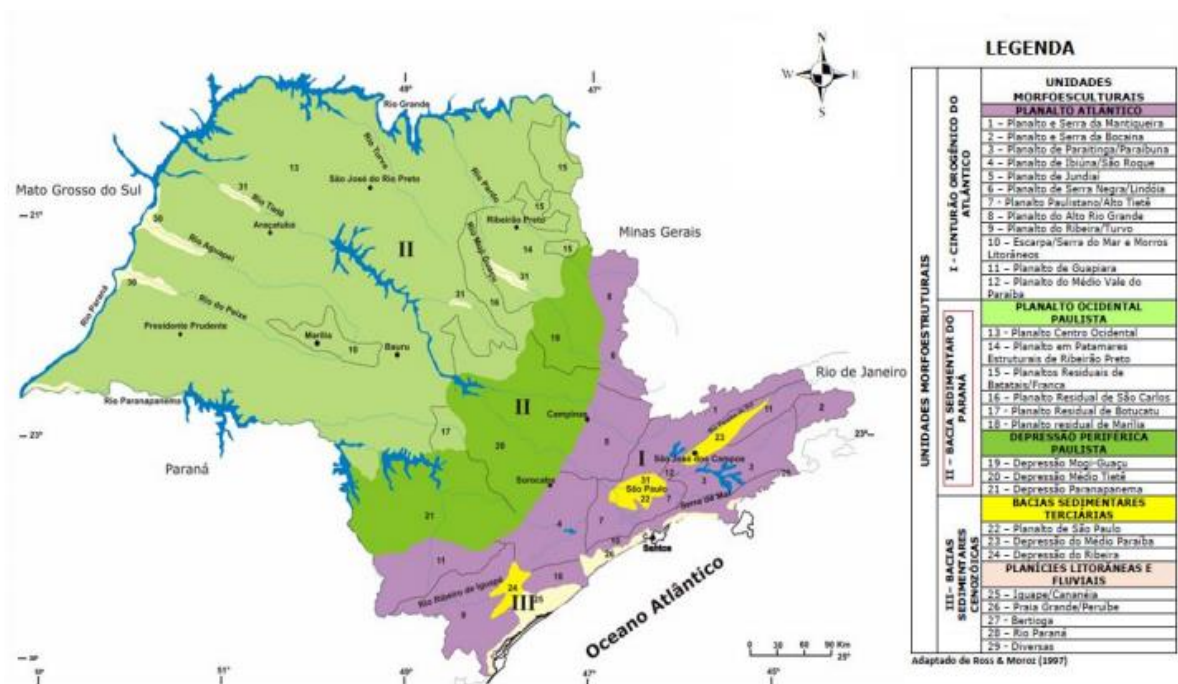


Figura 5: Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo
Fonte: (ROSS e MOROZ⁵, 1998 apud GEOAMBIENTAL JR., 2019)

4.4 Clima

Na figura 6, temos a classificação climática do estado de São Paulo pelo Sistema Internacional de Köppen, baseado na climatologia tradicional. Setzer classificou Ribeirão Preto com Clima Úmido Tropical, apresentando inverno seco, sendo que o total de chuvas do mês mais seco não ultrapassa 30 mm anuais.

⁵ ROSS, Jurandyr L. S.; MOROZ, Isabel Cristina. Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo. Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Geografia. FFLCH/USP. Revista Fapesp, 1998.

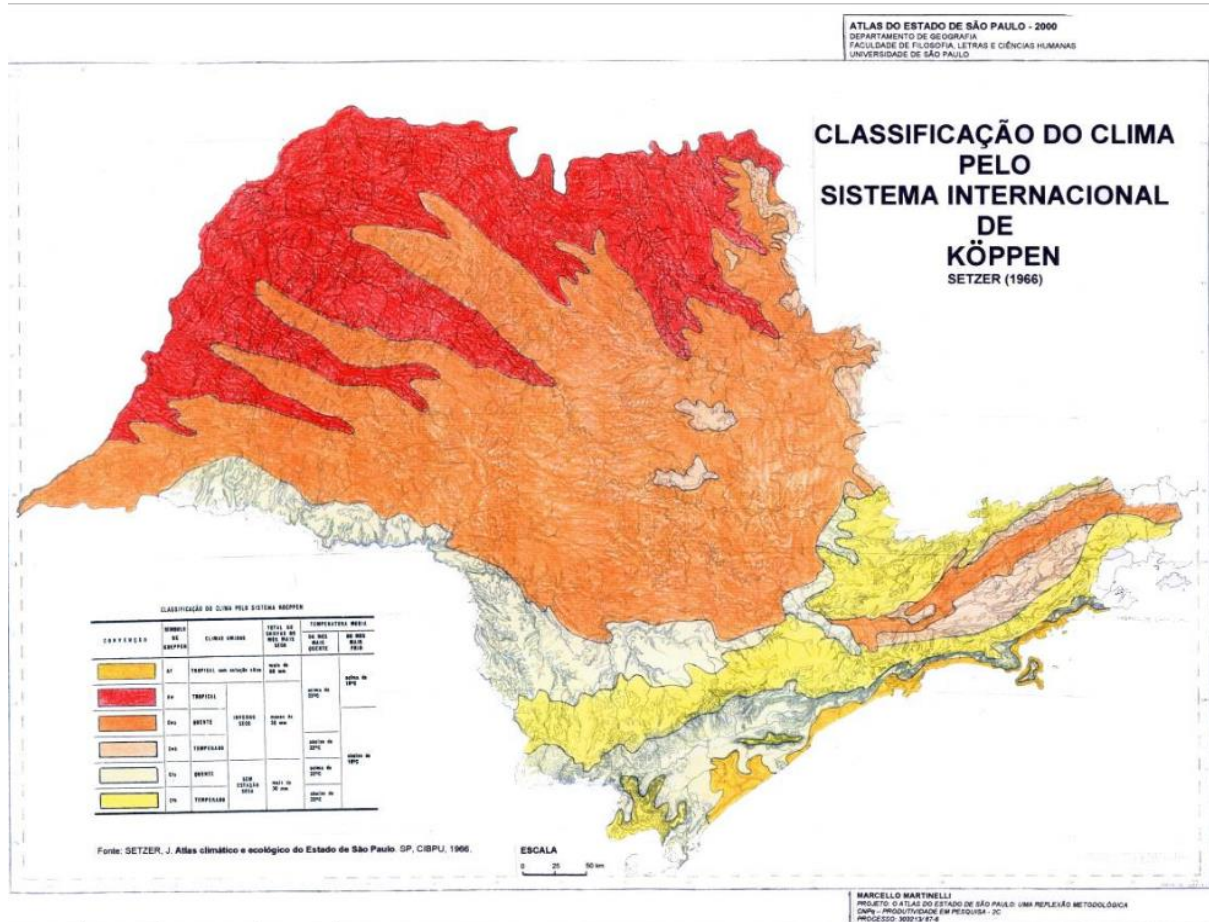


Figura 6: Mapa Climatológico do Estado de São Paulo – Climatologia Tradicional
Fonte: (MARTINELLI, 2010)

Na figura 7 temos o mapa climatológico do estado de São Paulo, baseado na climatologia dinâmica, com a bacia do Pardo em destaque. Temos a classificação climática zonal, regional e ainda, feições climáticas individualizadas nos climas regionais, segundo as unidades geomorfológicas. Assim, o clima zonal na bacia é controlado por massas de ar Equatoriais e Tropicais. O clima regional é o Tropical, com períodos que se alternam entre seco e úmido. Quanto às feições climáticas individualizadas, temos três tipos, pois, na bacia, há a presença de três tipos de relevo. Na região das nascentes do rio Pardo, temos a Serra da Mantiqueira, com a feição climática denominada Contrafortes. Mais adiante, temos a Depressão Periférica, com a feição climática denominada Setor Norte. Por fim temos a unidade geomorfológica do Planalto Ocidental Paulista, com duas feições climáticas, a primeira, mais ao norte, onde está localizada Ribeirão Preto, temos a feição climática Norte e, mais ao sul, na região do município de São Carlos, temos a feição climática Serra de São Carlos.

Portanto, o clima de Ribeirão Preto é aquele característico do norte do Planalto Ocidental Paulista, típico de clima Tropical com dois períodos que se alternam em seco e úmido, controlado por massas Equatoriais e Tropicais.

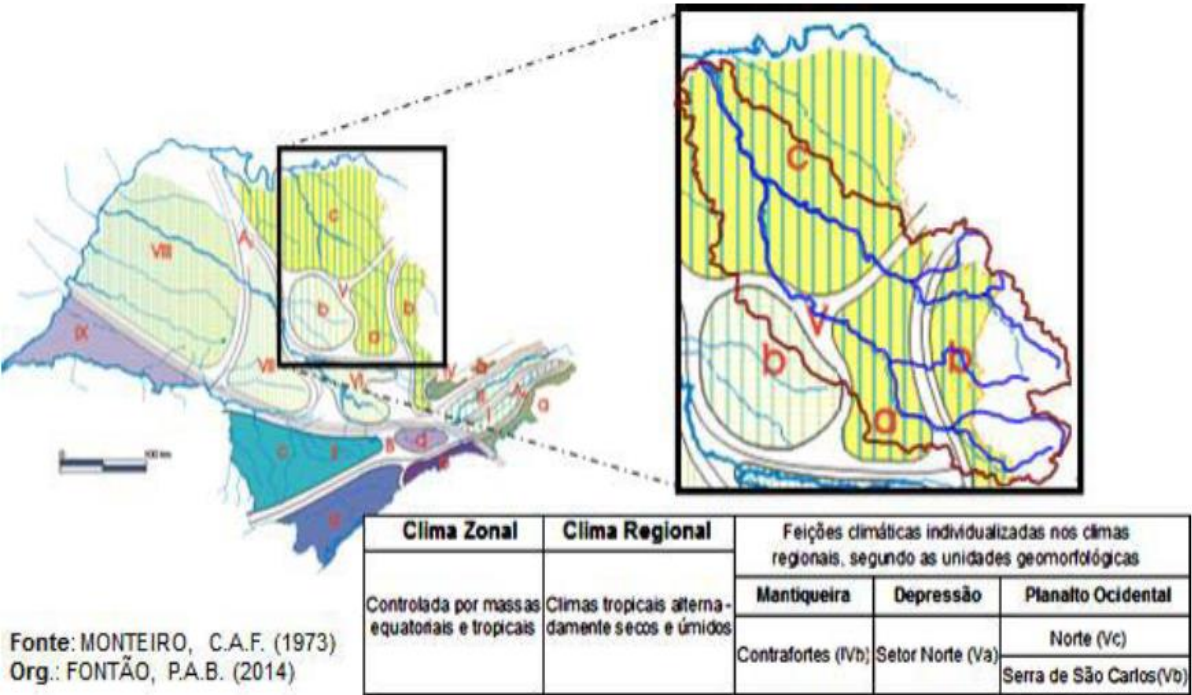


Figura 7: Esquema representativo das feições climáticas individualizadas no território paulista dentro das Células Climáticas Regionais e das articulações destas nas Faixas Zonais, com a área da bacia do Pardo e seu entorno em destaque – Climatologia Dinâmica.
Fonte: (FONTÃO, 2014).

Conforme a figura 8, um estudo demonstrou, numa série histórica de 28 anos, que a média pluviométrica na maior parte da bacia do Pardo varia entre 1400 e 1600 mm anuais. A temperatura média em Ribeirão Preto é de 19° C no inverno e 25° C no verão (NASCIMENTO; NERY, 2005).

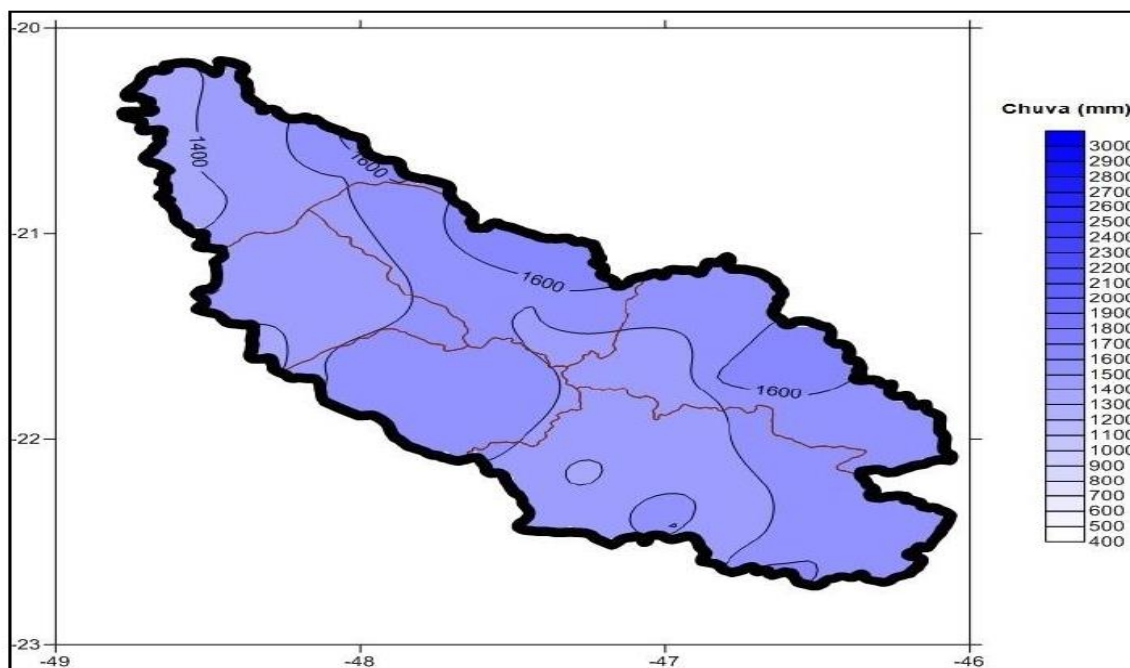


Figura 8: Distribuição da Chuva Anual Média na Bacia do Pardo (1967-1994)

Fonte: (FONTÃO; ZAVATTINI, 2014)

4.5 Cobertura Vegetal

A vegetação natural na bacia do Pardo se apresenta muito fragmentada. São mais de 5 mil fragmentos, dentre os quais, mais de 60% são de fragmentos menores do que 10 hectares, sendo que Ribeirão Preto apresenta apenas 3,3% de áreas ocupadas por vegetação natural (SAMPAIO, 2012).

Neste município, a vegetação natural predominante é o Cerrado. Essa região foi diagnosticada como uma das mais intensamente devastadas, com redução de cerca de 454.000 hectares. “As culturas que mais contribuíram para a redução das áreas de cerrado foram a cana-de-açúcar, pastagens, culturas temporais, citricultura e reflorestamento” (SÃO PAULO, 2005, p. 36).

A bacia possui quatro unidades de conservação: a Área de Proteção Ambiental Morro de São Bento (municipal), a Estação Ecológica Ribeirão Preto (estadual), ambas em Ribeirão Preto; a Estação Ecológica Santa Maria, em São Simão (estadual); e a Reserva Particular do Patrimônio Natural Fazenda Palmira no município de Serra Azul (federal) (SÃO PAULO, 2016).

4.6 Solo e aspectos socioeconômicos

Na região de Ribeirão Preto há o predomínio dos Latossolos, conhecidos por terra roxa (RODRIGUEZ, 2010). O mapa da figura 9 nos mostra que Ribeirão Preto se insere numa área que apresenta déficit hídrico no solo no período seco, entre os meses de abril a setembro. No bimestre mais crítico, agosto e setembro, o solo da região pode sofrer com até 100 mm de deficiência hídrica.

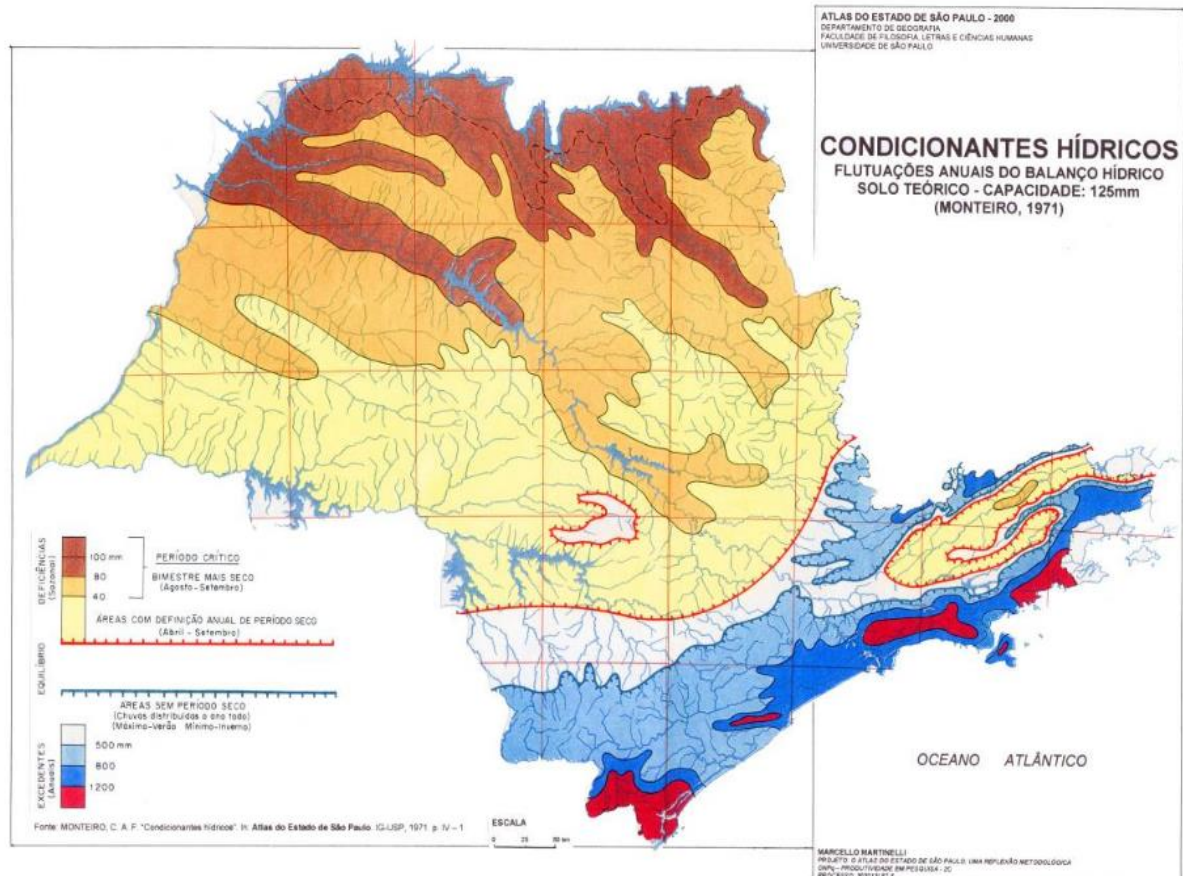


Figura 9: Condicionantes Hídricas - Flutuações Anuais do Balanço Hídrico no Estado de São Paulo
Fonte: (MARTINELLI, 2010)

A figura 10 ilustra bem esta questão. Há excedente hídrico no solo a partir de outubro e deficiência hídrica a partir de abril, sendo os meses de agosto e setembro os mais críticos.

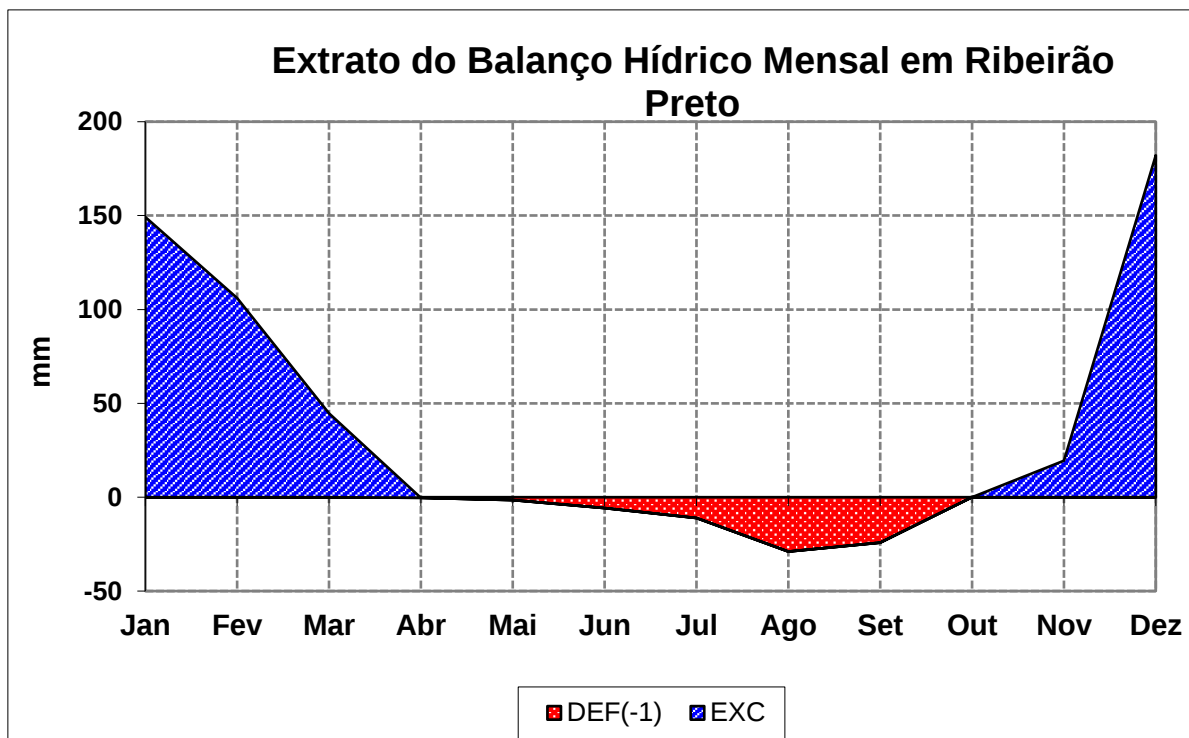


Figura 10: Extrato do Balanço Hídrico Mensal em Ribeirão Preto
 Fonte: (ESALQ, 2021)

As características dos solos e do clima, fazem com que a região de Ribeirão Preto seja uma das principais regiões agrícolas do Estado de São Paulo e do país, permitindo uma grande produção e elevados níveis de rendimento das culturas, com destaque para a cana de açúcar, a laranja, a soja, o amendoim, a fruticultura em geral, entre outras. A região é a maior produtora mundial de açúcar e álcool. As usinas representam uma das principais atividades econômicas da região. Além das usinas, faz-se presente na região, várias indústrias de suco de laranja, beneficiadoras de café, soja, amendoim, indústrias alimentícias, indústrias de ração, fertilizantes, equipamentos médicos - odontológicos e farmacêuticos etc. A região ainda é um dos principais polos de geração de tecnologia e mão de obra qualificada do país. Soma-se a isso, sua localização diferenciada, próxima a importantes centros consumidores, com acesso facilitado devido à boa qualidade da infraestrutura de transportes e comunicação. Tudo isso faz com que esta seja uma das mais ricas regiões do Estado de São Paulo, apresentando elevado padrão de vida e bons indicadores sociais. Isto faz com que seja uma região muito atrativa, causando aumento populacional acelerado (NASCIMENTO; NERY, 2005).

Todavia, este desenvolvimento econômico ascendente na região, principalmente no setor da agroindústria sucroalcooleira, gera resíduos que afetam a qualidade do corpo hídrico receptor (SAMPAIO, 2012).

4.7 O Sistema Aquífero Guarani (SAG)

O Sistema Aquífero Guarani (SAG) é um reservatório subterrâneo de água doce composto por várias formações geológicas como as Formações Botucatu, Pirambóia, e Serra Geral (OLIVEIRA; CARNEIRO, 2008), ou seja, é um sistema de aquíferos, comumente chamado de Aquífero Guarani.

Conforme ilustrado na figura 11, O SAG tem área aproximada de 1.087.879 km², distribuída por territórios de quatro países: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai, sendo que no Brasil encontram-se 71% de toda a sua área. OEA (2009). “É considerado um dos maiores sistemas aquíferos do mundo, sendo sua “área equivalente à dos territórios de Inglaterra, França e Espanha, juntos” (ROCHA, 1997, p. 191).



Aquífero Guarani

Figura 11: Localização do Aquífero Guarani
Fonte: Portal São Francisco, 2021

Neste enorme manancial, “as reservas permanentes são da ordem de 45.000 km³, ou 45 trilhões de metros cúbicos” (OLIVEIRA; CARNEIRO, 2008, p. 3).

Está presente no subsolo de oito estados brasileiros: Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná, Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo (OLIVEIRA; CARNEIRO, 2008).

Entretanto, conforme o mapa da figura 12 demonstra, segundo (CUNHA, 2003, p. 5) “em termos hidrogeológicos, 90% do Sistema Aquífero Guarani encontra-se confinado, margeado por faixas alongadas aflorantes, que constituem as zonas de recarga direta do aquífero” e, Ribeirão Preto é um dos municípios que se localiza nestas áreas de faixas aflorantes.



Fuente: Borguetti *et al.*, 2004.

Figura 12: Aquífero Guarani – Áreas Afloradas e Áreas Confinadas

Fonte: Borguetti et al⁶ (2004 apud VILLAR; RIBEIRO, 2009)

O estado de São Paulo é o mais rico do Brasil economicamente, e ainda, possui localização geográfica diferenciada por vários motivos, entre eles, por possuir

⁶ BORGHETTI, N.; BORGHETTI, J. R. & ROSA, E. F. F. Aquífero Guarani-A verdadeira integração dos países do Mercosul. Curitiba: Imprensa Oficial, 2004.

em praticamente metade do seu subsolo, um sistema de aquíferos, sendo que em cerca de 10% deste, o manancial está aflorado, ou seja, próximo à superfície, facilitando a extração de suas águas para o consumo. O mapa a figura 13 ilustra:

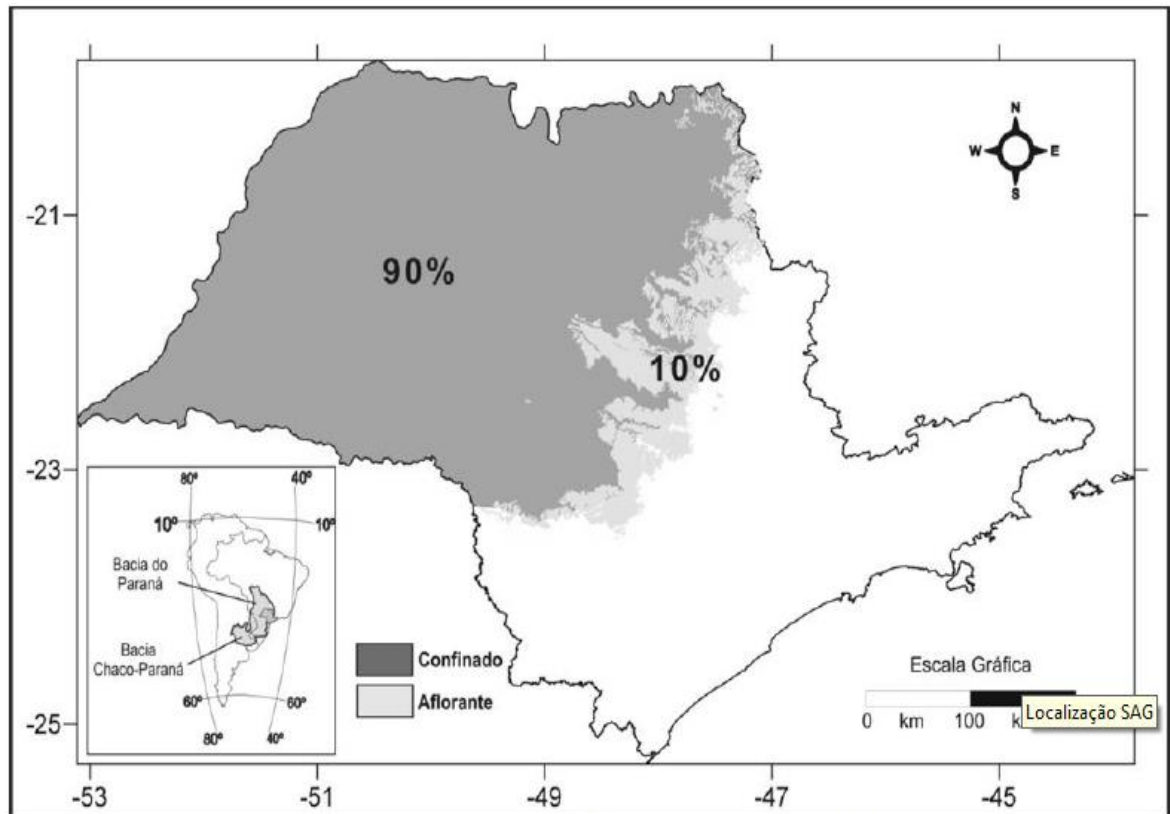


Figura 13: Ocorrência do Sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo
Fonte: (CAVICCHIA, 2007)

No mapa da figura 14, é possível perceber que além de Ribeirão Preto, outros importantes municípios do estado se localizam ou possuem parte de seus territórios nesta faixa de recarga como Araraquara, Franca, Piracicaba entre outros.



Figura 14: Representação Esquemática da Localização de Ribeirão Preto em Área Aflorada do Sistema Aquífero Guarani.

Fonte: IPT (2011)

Na figura 15 temos representado os Domínios Pedomorfoagroclimáticos da área de recarga do SAG. Segundo (GOMES; FILIZOLA; SPADOTTO, 2006, p.69), no Estado de São Paulo, a área de recarga do SAG insere-se nas coordenadas 21° e 23° de latitude sul e 47° e 50° de longitude oeste, ocupando uma faixa de norte a sul do estado localizada na porção Centro-Oeste, abrangendo cerca de 16.000 km².

Quanto ao aspecto morfológico, toda a faixa de recarga está inserida no Planalto Médio Paulista sendo que o relevo varia de ondulado a fortemente ondulado em toda a extensão dessas áreas e, quanto ao aspecto agropecuário, tem a cana-de-açúcar como principal atividade agrícola (GOMES; FILIZOLA; SPADOTTO, 2006).

“Devido a algumas diferenças quanto ao tipo de cultura, foi feita uma subdivisão em três regiões ou faixas de recarga, mas que não caracteriza uma subdivisão em domínios” (GOMES; FILIZOLA; SPADOTTO, 2006, p. 69): faixa de recarga da porção Centro-Norte, onde está localizado o município de Ribeirão Preto, faixa de recarga da porção Central e faixa de recarga da porção Centro-Sul.

Quanto às características do solo, há a presença do Neossolo Quartzênico em toda a faixa de recarga, com presença do Latossolo Vermelho psamítico na faixa Centro-Norte e o do Argissolo vermelho de textura média na faixa de recarga Central.

Nesta faixa também há o cultivo de citrus, arroz irrigado e pastagens, com a presença deste último também na faixa Centro-Sul. Quanto aos aspectos climáticos, a precipitação pluviométrica média anual varia de 1550 mm na faixa de recarga Centro-Norte e 1700 mm na faixa Central. A temperatura média anual também varia, de 20,3°C na faixa Centro-Sul e 22,4° na faixa Centro-Norte (GOMES; FILIZOLA; SPADOTTO, 2006).

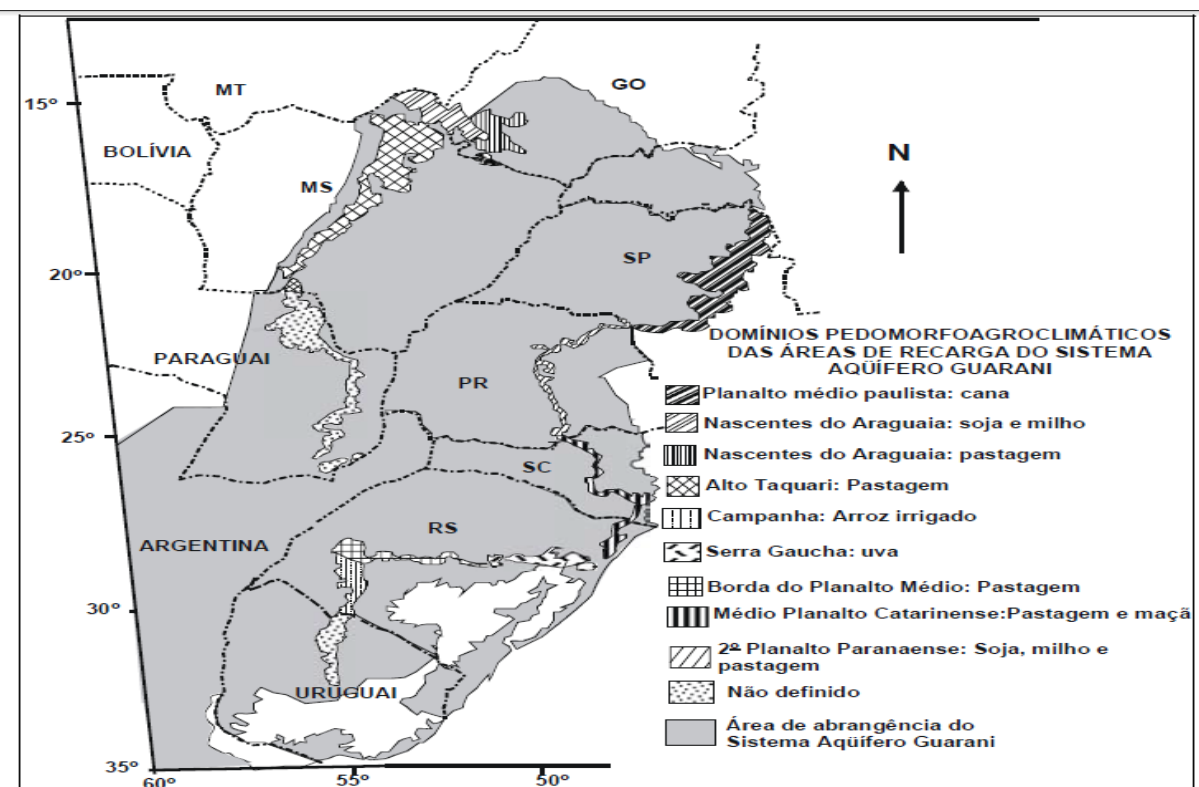


Figura 15: Domínios Pedomorfoagroclimáticos das Áreas de Recarga do SAG
Fonte: (GOMES; FILIZOLA; SPADOTTO, 2006)

O mapa da figura 16 identifica a área aflorada do SAG nas bacias do estado de São Paulo. Em toda esta área há uma proposta de criação de uma Área de Proteção e Recuperação de Mananciais (APRM).

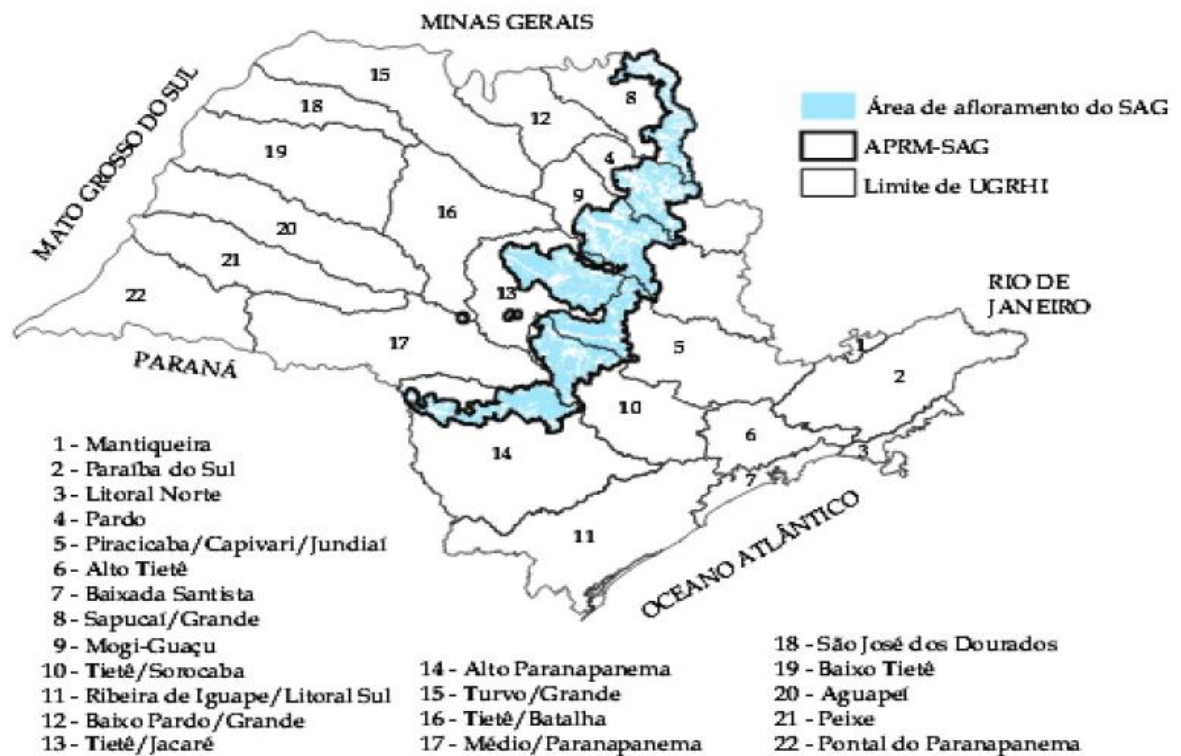


Figura 16: Área de Proteção e Recuperação de Mananciais
Fonte: IPT (2011)

Segundo (VILLAR; RIBEIRO, 2009), a bacia do rio Pardo tem uma área de afloramento do SAG de 1.327 km², da qual, aproximadamente 10% se localiza no município de Ribeirão Preto (137 km², ou 21% da área total do município).

Nesta bacia, metade do abastecimento provém de água subterrânea, sendo o município de Ribeirão Preto quase exclusivamente abastecido por aquíferos (SÃO PAULO, 2016).

O mapa da figura 17 representa o sistema de aquíferos na UGRHI-04. Em azul claro temos o SAG aflorado, onde está localizado o município de Ribeirão Preto. A outra área em que o município também está presente é a verde, que corresponde à Formação Serra Geral, indicando a presença de uma camada de basalto sobre a Formação Piramboia/Botucatu, é a área do Aquífero Guarani confinado.

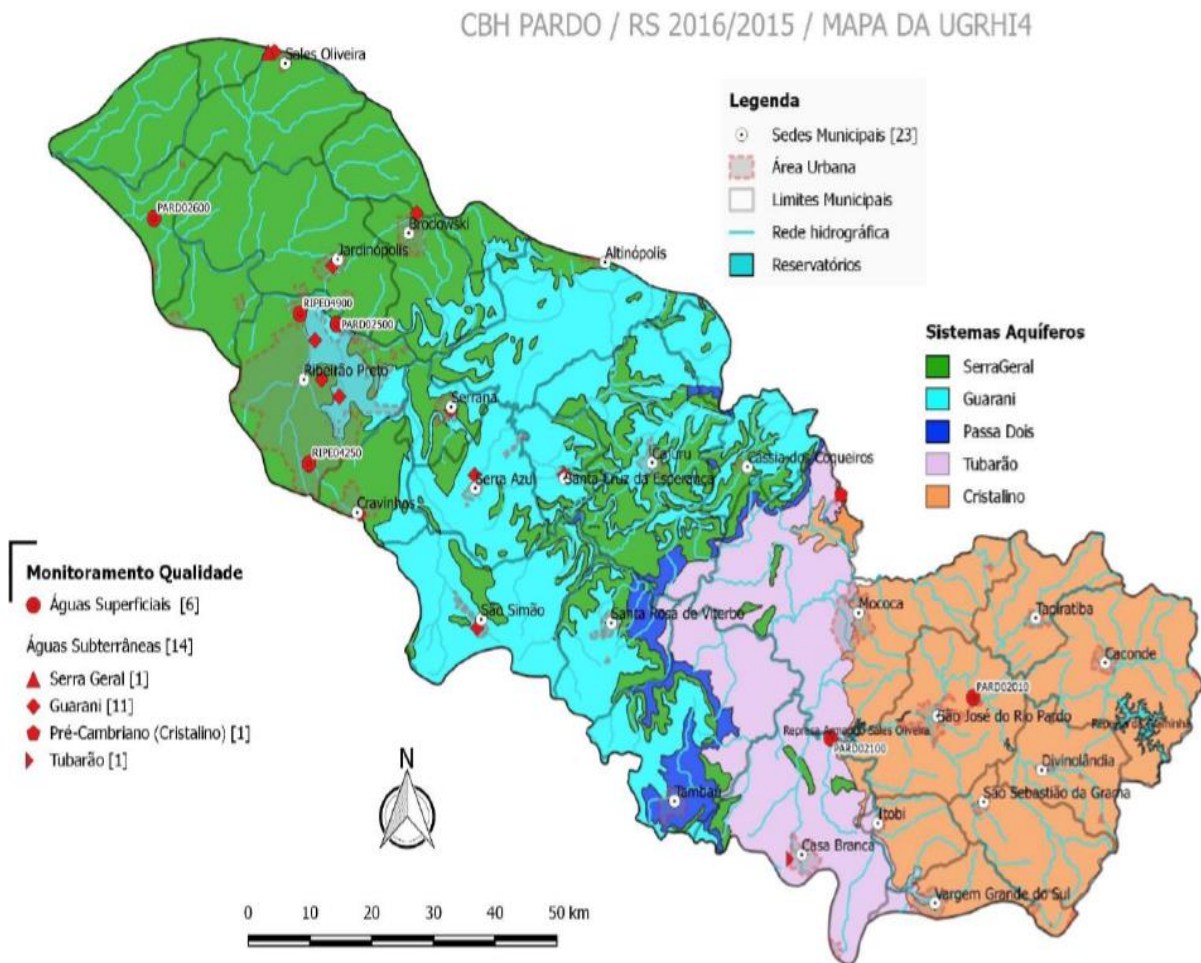


Figura 17: Sistema de Aquíferos na UGRHI – 04
Fonte: (CBH-PARDO, 2016)

5. Referencial Teórico

5.1 O caráter integrador da Geografia

A geografia é a ciência que tem por objeto de estudo as relações entre a sociedade e a natureza. Estuda vários aspectos naturais e sociais do Espaço Geográfico e os relaciona de acordo com o objetivo da pesquisa. Muitas vezes utiliza estudos feitos por outras ciências. Ela possui, portanto, um caráter integrador.

Segundo Carvalho (1999) Ratzel, escreveu, por volta de 1880 que o objetivo da Geografia seria “argumentar e demonstrar as conexões existentes entre todas as coisas presentes na Terra”, e que “Nossa Terra constitui em si um único complexo”.

La Blache (1913) argumenta que a Geografia deve tratar da “combinação dos fenômenos” e que nos estudos da Geografia Física “não se pode isolar nenhuma parte, pois cada uma age sobre sua vizinha”.

Para Cholley (1964) entre os principais objetivos da Geografia está o estudo de combinações do complexo, referindo-se às inter-relações que ocorrem na natureza.

Já Reclus (1985) afirma que os aspectos naturais se inter-relacionam com os aspectos sociais, num sistema complexo, onde seus vários componentes se interagem determinando a organização do espaço.

A geografia trabalha com sistemas dinâmicos, podendo ser simples, que são aqueles compostos “por um conjunto de componentes relacionados conjuntamente e agindo um sobre os outros conforme determinadas leis” Christofolletti⁷ (2004, apud LIMBERGER, 2006, p. 107) e os complexos que “apresentam diversidade de elementos, encadeamentos, interações, fluxos e retroalimentação compondo uma entidade organizada” (CHRISTOFOLETTI⁸, 1999 apud LIMBERGER, 2006, p. 107).

Assim, a natureza é não-linear, pois “a resposta a um determinado distúrbio não é necessariamente proporcional à intensidade deste distúrbio, comportando-se como sistemas dinâmicos e caóticos”. Portanto, ao considerar a Terra como um geossistema, pode se dizer que “qualquer alteração em qualquer de seus

⁷ CHRISTOFOLETTI, Anderson L. H. Sistemas dinâmicos: as abordagens da teoria do caos e da geometria fractal em Geografia. In: VITTE, A. C. e GUERRA, A. J. T. (org). Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, p. 89-110.

⁸ CHRISTOFOLETTI, Antonio. Modelagem de Sistemas Ambientais. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

componentes, que ultrapassar seu limite de resistência, pode desestabilizá-lo e levá-lo a uma readaptação para um novo estado de equilíbrio” (LIMBERGER, 2006, p. 107).

Portanto, a geografia sempre teve este caráter integrador, trabalhando, mesmo que “inconscientemente” (LIMBERGER, 2006, p. 106) com o conceito de sistemas, visto analisar os vários elementos compositores do espaço e relacionando-os de forma integrada, buscando entender como se dá a organização do espaço.

Embora, para facilitar os estudos, a geografia seja dividida em geografia humana e geografia física, a geografia é uma só. Monteiro (2008) afirma que, segundo as obras que realizou, sempre se preocupou com o caráter unitário da Geografia e que, mesmo na pesquisa dos climas, o que importa são as relações do comportamento da atmosfera com as atividades do homem.

Portanto, o presente trabalho propõe um estudo que integre elementos da natureza, envolvendo as relações entre o clima, o solo, o subsolo e o homem.

Além disso, a Geografia pode trabalhar em conjunto com outras ciências. Em Monteiro (2008), este autor ressalta a importância de se trabalhar interdisciplinarmente, e a Geografia, é uma destas ciências que podem contribuir para a construção de futuros melhores.

5.2 Teoria Geográfica da Paisagem

De acordo com Dantas et al., (2015, p.4) o conceito de Paisagem é “vastamente utilizado por um amplo espectro de profissionais que estudam as questões vinculadas à gestão ambiental ou ao planejamento territorial em seus diversos níveis, escalas e recortes temáticos de análise”. Segundo (CASTRO; GOMES; CORRÊA, 1995) o conceito de Paisagem consiste em um dos cinco conceitos-chave de análise para o estudo da Geografia, em conjunto com os termos Espaço, Território, Região e Lugar.

A área do presente estudo é a parte aflorada do Sistema Aquífero Guarani no município de Ribeirão Preto e que não está impermeabilizada pela urbanização. São, portanto, 103.886 metros quadrados aproximadamente. Este trabalho utilizou o conceito de Paisagem, derivada da Teoria Geral dos Sistemas, para definir esta área de estudo e, para satisfazer seu objetivo, adotou-se a definição de Monteiro (2001) como a mais adequada, que entende a paisagem como

[...] entidade espacial delimitada segundo um nível de resolução do geógrafo (pesquisador) a partir dos objetivos centrais da análise, de qualquer modo sempre resultante da integração dinâmica, portanto instável, dos elementos de suporte e cobertura (físicos, biológicos e antrópicos), expressa em partes delimitáveis infinitamente, mas individualizadas através das relações entre elas, que organizam um todo complexo (sistema), verdadeiro conjunto solidário e único, indissociável, em perpétua evolução.

E Santos⁹ (2000 apud DANTAS et al., 2015, p. 4):

As paisagens que são reconhecidas pelo observador em qualquer porção do Espaço Geográfico congregam um conjunto de elementos do meio geobiofísico (rochas, minerais, relevo, solos, biota) em dinâmica transformação por processos geológicos, hidrológicos e atmosféricos. Do mesmo modo, essas paisagens são continuamente transformadas pela ação humana no Espaço Geográfico, atividade essa cada vez mais intensa à medida que a Sociedade se torna mais tecnificada.

“Deste modo, não se pode mais preconizar a existência de paisagens naturais, pois todas apresentam, em maior ou menor grau, a interferência antropogênica” (DANTAS et. al, 2015, p. 4).

Portanto, quando o homem perfura poços e retira água do manancial subterrâneo para consumo, está transformando a paisagem com seu trabalho. Conforme aprimora suas técnicas, retira ainda mais água, numa velocidade maior, num tempo menor, o que acelera o processo de esvaziamento do manancial. Para Gomez Orea¹⁰ (1978 apud ROCHA, 2008, p. 22).

[...] O homem, com sua grande capacidade de alterar a natureza, não adota, na maioria das vezes, medidas de previsão, prevenção e controle para que as alterações realizadas não causem problemas e impactos ambientais prejudiciais à natureza e à sociedade. Assim, suas transformações comprometem o equilíbrio ecológico e a paisagem, para atender as necessidades humanas em termos de recursos naturais e para o desenvolvimento econômico das sociedades.

Segundo Sant’Anna Neto (2011, p. 123)

[...] A partir do momento em que o homem e sua organização econômica e social intervém numa determinada paisagem, as condições iniciais do sistema são alteradas, desencadeando reações processuais que delineiam novas modelagens. Desta forma, realimenta o sistema, afinal, a natureza não se comporta de modo passivo às intervenções humanas.

⁹ Santos M. 2000. Por uma outra globalização: do Pensamento Único à Consciência Universal. Rio de Janeiro: Ed. Record, 174p.

¹⁰ GOMEZ OREA, D. El medio físico y la planificación. Madrid: CIFCA, 1978. 144p.

Ou seja, as modificações antrópicas no sistema natural fazem com que a recarga do aquífero seja desequilibrada, o que também é oriunda de uma perturbação antrópica da paisagem natural na interação entre rocha, solo e atmosfera, mas com consequências maiores à manutenção das próprias sociedades humanas.

Quanto às escalas, o presente trabalho tem como área de estudo a área de afloramento e recarga do SAG no município de Ribeirão Preto. Sant'Anna Neto (2011, p. 124) afirma que

[...] ao contrário dos estudos oriundos da Meteorologia, que direcionam sua atenção prioritária aos fatores de grandeza global e daqueles provenientes da Agronomia, mais preocupados com as relações de microescala (clima-água-solo-planta), a Geografia encontra na escala regional (e a Geografia Física na escala do geossistema) seu melhor desempenho.

Para Cavalheiro, Presotto e Rocha (2003 p. 162) a paisagem pode ser “um município, um bairro ou uma área de parque e, como detalhe, um rio, um lago, um pântano, uma montanha, áreas mais ou menos urbanizadas, uma rua, uma praça”.

5.3 Geodiversidade e o desenvolvimento sustentável

Segundo (DANTAS et al., 2015, p. 9), “o conceito de Geodiversidade abrange a porção abiótica do Geossistema”, o que permite ressaltar os aspectos geológicos em estudos geográficos que visam, principalmente, o desenvolvimento sustentável.

Segundo Keller¹¹ (1996) e Cordani¹² (2000) apud (DANTAS et al., 2015, p. 7)

[...] A comunidade geológica ingressa neste rico debate a partir da década de 80 com a necessidade de aproximar a Geologia às demandas da sociedade, com a emergência dos estudos vinculados à Geologia Ambiental. A partir desse momento, o conceito de paisagem passa a ser utilizado nas análises geológicas voltadas para estudos ambientais, incorporando conceitos fundamentais como os de Exaustão dos Recursos Naturais e de Ética e Sustentabilidade Ambiental.

Veiga¹³ (1999 apud DANTAS et al., 2015, p. 9) enfatiza o estudo das águas superficiais e subterrâneas nos estudos de Geodiversidade. Para este autor,

¹¹ Keller E.A. 1996. Environmental Geology. New Jersey: Prentice-Hall. 562p.

¹² Cordani U. 2002. The role of the Earth Sciences in a sustainable world. Episodes, 23(3):155-162.

¹³ Veiga A.T.C. 1999. A geodiversidade e o uso dos recursos minerais da Amazônia. Terra das Águas - UnB, 1: 88-102.

[...] a Geodiversidade expressa as particularidades do meio físico, compreendendo as rochas, o relevo, o clima, os solos e as águas, subterrâneas e superficiais e condiciona a morfologia da paisagem e a diversidade biológica e cultural.

Segundo a (WCED¹⁴, 1987 apud CLEMENTE, 2013, p. 23-24)

Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades das presentes gerações sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem suas próprias necessidades.

5.4 O clima e a precipitação

Estudos sobre o clima são muito importantes para a sociedade. Seus elementos como a temperatura, precipitação, umidade do ar, velocidade e direção dos ventos, pressão atmosférica entre outros, são “insumos de energia no sistema terrestre” (SANT’ANNA NETO, 2001, p. 57).

A precipitação pluvial é um dos elementos climáticos mais importantes, e seu estudo é relevante principalmente em países tropicais, onde a água é o “motor do Geocossistema”, segundo Coelho Netto¹⁵ (1992 apud DANTAS et al., 2015, p. 7).

Segundo (AYOADE, 1996, p. 159)

Em meteorologia, o termo precipitação é usado para qualquer deposição em forma líquida ou sólida e derivada da atmosfera. Consequentemente, o termo refere-se às várias formas líquidas e congeladas de água, como a chuva, neve, granizo, orvalho, geada e nevoeiro.

Todavia, são capazes de contribuir significativamente para com os totais de precipitação, somente a chuva e a neve. Como a precipitação de neve é de difícil medição com exatidão, os registros de precipitação são, em sua maioria, equivalentes a precipitação pluvial (AYOADE, 1996).

Sabemos que o clima não é estável, pois apresenta variabilidade temporal e espacial decorrentes de processos na atmosfera, no solo e em sua cobertura, nos

¹⁴ WCED. World Commission on Environment and Development. Our Common Future, Oxford Universit Press, New York. 1987.

¹⁵ Coelho Netto A.L. 1992. O Geocossistema da Floresta da Tijuca. In: Abreu M.A. Ed. 1992. Natureza e Sociedade no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Secr. Mun. Cultura/DGDI, Biblioteca Carioca, 21:104-142

oceanos e devido à radiação solar. Estudos demonstram aumento da temperatura média do planeta.

Sant'Anna Neto (2011, p. 123) afirma que

[...] mesmo considerando uma série de problemas e dificuldades para a avaliação correta do grau de derivação do regime e distribuição dos fenômenos atmosféricos sobre a superfície terrestre, já há indícios de que venha ocorrendo mudanças climáticas.

Como o ciclo hidrológico vincula-se diretamente às mudanças de temperatura da atmosfera, as consequências esperadas, com o aquecimento global, são mudanças nos padrões de precipitação. Entretanto, assim como acontece com a temperatura, as mudanças na precipitação variam em cada região (ANA, 2016). Vale lembrar que o incremento do aquecimento global pode levar à escassez de chuvas em algumas áreas e ocorrer o contrário em outras regiões.

Em escala local e regional, as mudanças feitas pelo homem no solo também influenciam no comportamento da atmosfera (SANT'ANNA NETO, 2011).

Para Sant'Anna Neto (2011, p. 123)

[...] as transformações ocorridas nos últimos 100 anos no uso e ocupação da superfície terrestre, provavelmente, trouxeram consequências tanto à qualidade ambiental de modo geral, como certamente a mudanças de comportamento da camada inferior da atmosfera, afetando o regime hídrico das precipitações pluviais e da disponibilidade de água no solo, além do balanço de energia.

Segundo (TRICART, 1977; MAACK¹⁶, 1981; BIGARELLA e MAZUCHOWSKI¹⁷, 1985 apud BALDO, 2006, p. 23)

[...] O processo de retirada da vegetação natural e as várias formas de uso da terra com finalidades agropecuárias ou urbanas modificam o tempo de permanência da água na bacia hidrográfica, por diminuir a permeabilidade e, conseqüentemente, o seu armazenamento em reservatórios subterrâneos.

“A variação da pluviosidade tem grande importância na caracterização do clima de uma região, por condicionar períodos com excedente e/ou escassez hídrica” (VESTENA; CALUX, 2009, p. 8).

¹⁶ MAACK, R. Geografia física do Estado do Paraná. 2.ed. Rio de Janeiro: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981, 438p.

¹⁷ BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, Z. Visão integrada da problemática da erosão. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROSÃO, 3., 1985, Maringá. Anais... Maringá: ABGE/ADEA, 1985.

[...] Portanto, o conhecimento dos padrões predominantes de precipitação pluviométrica em diferentes escalas e sua variabilidade passa a ter uma importância ainda maior no planejamento dos recursos hídricos [...] (BALDO, 2006, p. 7).

O clima é muito dinâmico e, portanto, sua observação através de seus principais elementos, como a temperatura, a umidade e a pluviosidade, por um longo período é necessária, a fim de verificar se as variações de seu comportamento são ciclos recorrentes com tendência em se repetirem ou, se são fatores de mudança climática ou ainda, se são realmente imutáveis (SANT'ANNA NETO; ZAVATINI, 2000).

O processo de recarga assim como o bombeamento das águas subterrâneas, podem alterar os divisores das águas das bacias subterrâneas, o que torna estudos pontuais da precipitação pluviométrica nesta área ainda mais importantes (SANTOS, 2018).

Segundo Sant'Anna Neto (2011, p. 123)

[...] pressupondo o paradigma sistêmico como o mais adequado para a análise geográfica do clima e seu papel na organização do espaço, e com base nas considerações de Monteiro (1978), partimos da concepção de que o clima é parte fundamental na compreensão do espaço, tanto como insumo de energia no sistema, quanto como regulador dos processos a eles inerentes. Desta forma, os principais atributos climáticos devem ser considerados tanto em sua gênese, sua distribuição espacial e seus processos temporais.

No presente trabalho, o foco são os processos temporais, pois visa saber se o atributo climático precipitação pluviométrica, vem tendo seu volume modificado no decorrer do tempo.

“A dinâmica da paisagem tem na gênese climática seu principal insumo de energia. Além disso, cada uma destas paisagens apresenta estruturas espaciais que vão sendo construídas pelo trabalho do homem e influenciadas por esta dinâmica” (SANT'ANNA NETO 2011, p. 123).

Segundo Baldo (2006, p. 2)

[...] partindo-se desta perspectiva, os estudos climáticos passam a ter um papel fundamental, pois se apresentam de forma tridimensional do ponto de vista espaço-temporal (planos horizontais e verticais, considerando-se a atmosfera adjacente, o solo e o espaço subterrâneo), incluindo os elementos produzidos pela ação antrópica, em distintas combinações.

Para (COELHO; SOUZA, 2014, p. 288)

Com o desenvolvimento que o mundo sofreu nos últimos séculos tanto na área rural como urbana, problemas relacionados às modificações no meio natural são intensificados. Sendo que os mais presentes são aqueles relacionados à questão hídrica, ou seja, influenciados pela precipitação.

Segundo (SALVADOR; SANTOS, 2010) cientistas têm se preocupado cada vez mais com o comportamento do clima global. Entretanto, cresce a necessidade de se compreender aspectos pontuais nas mudanças do clima em áreas importantes do ponto de vista ambiental e socioeconômico.

Segundo (ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007, p. 5) o estudo de predição do clima é um trabalho árduo, pois o sistema climático é muito complexo. Estimar o grau de modificação que sofrerão os regimes de chuvas e de ventos, inclusive quanto à sua distribuição espacial, é complicado, pois “não há uniformidade dos efeitos nas diferentes regiões”. Além disso,

[...] o fenômeno de aquecimento global depende da atuação humana e das projeções econômicas sobre uso de recursos naturais. Esses fatos dependem da atuação política nas sociedades envolvidas e o que se procura nas predições é projetar cenários de emissões dos poluentes e seu controle, bem como também da modificação de uso dos solos, para se estimar as consequências sobre o clima.

5.5 Climatologia e suas diferentes metodologias

Segundo Galvani (2003)

A Meteorologia é definida como a ciência que estuda os fenômenos que ocorrem na atmosfera, e está relacionada ao estado físico, dinâmico e químico da atmosfera, as interações entre elas e a superfície terrestre subjacente. A Climatologia é uma sub-área da meteorologia que estuda o comportamento médio da atmosfera para um determinado período, através de métodos estatísticos. A Climatologia Geográfica é a disciplina que estuda a relação entre os elementos e fatores do clima e suas relações com a produção e organização do espaço e sua influência nas atividades humanas.

Segundo Conti (2001, p. 91)

A Climatologia, como parte integrante da Geografia, concentra suas atenções na superfície do planeta, onde se dá a conexão dos processos atmosféricos, geomorfológicos, hidrológicos e biológicos e onde o homem, vivendo em sociedade, produz e organiza seu espaço.

Ferreira (2012, p. 767) afirma que

[...] o estudo do clima sob uma concepção geográfica possui uma conotação antropocêntrica, possuindo, portanto, uma singularidade em relação à meteorologia, procurando estabelecer assim uma relação sociedade-natureza por integrar as diferentes esferas terrestres visando uma compreensão da organização do espaço, possuindo no estudo do clima um vetor de grande relevância nas análises espaciais.

Conti (2001, p. 92) afirma que

O estudo do clima sempre foi um forte componente do discurso dos geógrafos, desde o período em que esta ciência era tida como mera descrição de regiões. Não é difícil entender essa estreita associação, uma vez que, na análise da paisagem, o clima é o agente exógeno de maior interferência. As relações entre a sociedade e o clima se estabelecem segundo um processo dialético: os processos atmosféricos globais organizam espaços climáticos a partir de escalas superiores em relação a inferiores, ao passo que a ação da sociedade evolui no sentido inverso, ou seja, das escalas inferiores para as superiores.

Segundo (MONTEIRO, 1971, p. 17), devido à indisponibilidade de dados, a preocupação fundamental para estudos climatológicos em geografia, é com a verificação da interação do ritmo dos fatores climáticos com outros fatos importantes no complexo geográfico. “A meticulosidade da análise, bem como sua complexidade, requer aplicabilidade em anos padrão e muitas vezes em episódios capazes de retratar correlações mais íntimas entre estes fatos”.

“Da mesma forma que a Geografia, a Climatologia trabalha com várias orientações metodológicas dependendo da temática adotada, dos objetivos e da escala de análise” (CONTI, 2001, p. 91). Segundo (BARROS; ZAVATTINI, 2009)

A definição de clima desenvolvida por Julius Hann aponta que o clima é o conjunto de fenômenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera em um ponto da superfície terrestre, porém sob a concepção de Max Sorre o clima passa a ser definido como o ambiente atmosférico constituído pela série de estados da atmosfera sobre um lugar em sua sucessão habitual.

Assim, segundo Monteiro (1962), podemos dividir a Climatologia em Separativa, com bases na Meteorologia Tradicional e apoiada portanto no conceito de Hann sobre o clima; e a Climatologia Sintética, ligada à Meteorologia Dinâmica, que utiliza a análise do complexo atmosférico em porções individualizadas, apoiada no conceito que Sorre atribuiu ao clima.

A climatologia tradicional valoriza as médias, enquanto a sintética, os eventos extremos e seu ritmo. A climatologia tradicional estuda separadamente os fenômenos meteorológicos e depois os relaciona, enquanto a sintética estuda o todo atmosférico, num determinado lugar, analisando também o ritmo de sucessão das massas de ar.

Segundo Barros e Zavattini (2009) a pesquisa da meteorologia apresenta “dois domínios”, a “Meteorologia Tradicional e a Meteorologia Dinâmica”. A meteorologia tradicional estuda os elementos atmosféricos de forma isolada sendo conhecida também como Meteorologia analítico-separativa. “Esta forma de abordagem, inicialmente desintegra a realidade atmosférica, pois estuda cada um de seus elementos de forma separada e, só depois, tenta reconstruir” o complexo atmosférico. A meteorologia dinâmica considera, em conjunto, todos os estados do meio atmosférico, portanto “possível atender melhor às necessidades da Geografia, ciência que se interessa mais pelas combinações do que por fatos isolados”.

O ritmo expresso por Monteiro se conecta a ideia de Sorre sob a concepção de que o ritmo “exprime o retorno mais ou menos regular dos mesmos estados” (BARROS; ZAVATTINI, 2009). Sant’Anna Neto (2011, p. 129) afirma que

O legado de Sorre inscreveu, definitivamente, no escopo da Geografia, as noções de ritmo, gênese e dinâmica nos estudos climatológicos que, instrumentalizados e aplicados por Monteiro, sem dúvida alguma impulsionaram a Climatologia Dinâmica no Brasil e sedimentaram o papel da atmosfera como fenômeno geográfico.[...] Neste sentido, a análise climática tem contribuído significativamente para a compreensão do espaço (território, ambiente, paisagem) na busca do entendimento de seu funcionamento no sentido da gestão e do planejamento geográfico e ambiental. A percepção atual da complexa relação entre o ambiente (natural) e a organização socioeconômica passa necessariamente pelo diagnóstico de como o clima e seus elementos/parâmetros interferem, modificam e são derivados da ação do homem na construção de um espaço cada vez mais antropizado.

Em Ely (2006, p. 103-104) temos que:

A compreensão do desenvolvimento do ritmo climático, segundo Monteiro [...], pressupõe uma metodologia associativa entre os atributos qualitativos e quantitativos do referido fenômeno. Esse pesquisador propôs tal procedimento através da análise rítmica e sintetiza escrevendo que a definição do ritmo climático e a expressão quantitativa dos elementos se complementam, formando um importante binômio.

Segundo (ELY, 2006, p. 104):

O processo de elaboração dessa ordenação metodológica permite a concepção do clima como uma abstração teórica que incorpora totalidades espaço – temporais indissociáveis, ou seja, seus elementos e fatores. Todavia, o pensar exige decomposições e os elementos climáticos são desmembrados pelas pesquisas analisadas. A chuva, a temperatura do ar e do solo, a umidade relativa do ar, a evaporação, a radiação solar, a insolação, a direção e a velocidade dos ventos e a circulação atmosférica são analisadas separadamente.

Para Sant’Anna Neto (2011, p. 129),

Conciliar estas duas forças geneticamente importantes em busca do conhecimento científico que propicie a construção de um mundo mais equilibrado, tanto em termos ambientais quanto de suporte à sustentabilidade dos sistemas terrestres, não é só fundamental para a qualidade ambiental como para a própria sobrevivência da espécie humana neste planeta.

Segundo (MONTEIRO, 1969), a análise dinâmica não anula nem supre a tradicional, representando um complemento indispensável ao aprofundamento dos conhecimentos climatológicos do planeta, sendo que “as duas técnicas de análise, que devem andar juntas, assumem atitudes diferentes em suas projeções no tempo e no espaço”.

Portanto, para Barros e Zavattini (2009, p. 260)

[...] com relação às duas abordagens, aqui enfocadas, pode-se concluir que uma complementa a outra, e que vislumbrar e compreender o verdadeiro quadro climático significa, também, saber equilibrá-las nas investigações a que se propõe realizar.

“Mais do que desvendar os processos dinâmicos e as estruturas temporais e espaciais do clima, para o geógrafo o que realmente deveria importar é o significado deste processo inserido na dimensão socioeconômica e socioambiental” (SANT’ANNA NETO, 2001, p. 59).

Na esfera das pesquisas em climatologia, de acordo com os objetivos, outras metodologias costumam ser aplicadas como, por exemplo, “o estudo de séries temporais que obedece a escalas de intervalos e constitui um conjunto ordenado de investigações” (CONTI, 2001, p. 94). O presente trabalho trabalha com esta metodologia de séries temporais apontada por Conti.

A análise de séries temporais pode, também, indicar ciclicidades ou outras modalidades de flutuações climáticas relevantes, que poderão ser

crescentes, decrescentes ou estacionárias e tem se revelado importantes para a investigação de mudanças climáticas, especialmente as térmicas e pluviométricas (CONTI, 2001, p. 94).

Segundo Conti (2001), os melhores exemplos de trabalhos que utilizaram séries temporais foram estudos de séries de precipitações em áreas sob risco de desertificação. Cita trabalhos dos pesquisadores (HARE¹⁸, 1977) e (WARREN¹⁹, 1993) sobre a região do Sahel, na África subsaariana e sua própria tese de livre-docência aplicada ao semiárido brasileiro (CONTI²⁰, 1995). No caso do clima do território paulista, tem relevância o trabalho de (SETZER, 1946), “que estudou séries de precipitações entre 1900 e 1930, demonstrando mudanças de tendências e na sazonalidade pluviométrica” (CONTI, 2001, p. 94).

Outro trabalho relevante no estado de São Paulo, foi de (SANT’ANNA NETO, 1999, p. 920-921), onde afirma que

Os resultados alcançados a partir da análise realizada apontou para uma nítida constatação de que ocorreu uma significativa elevação dos totais anuais de chuvas para o período de 1941/1993. Entretanto, em função da variabilidade espacial dos fatores e elementos que influenciam e determinam a sua distribuição geográfica, esta tendência de aumento (de cerca de 12%, constatado na reta de tendência) não foi de todo uniforme em todas as regiões do Estado.

E ainda, (SANT’ANNA NETO, 1999, p. 921)

Constatou-se tendência de aumento das chuvas em toda a porção central (menos a região de São Carlos), norte e oeste (à exceção da região de Presidente Prudente). Já no litoral e nas faixas sul e leste do Estado, incluindo as serras do Mar e da Mantiqueira, e os vales do Paraíba e Ribeira do Iguape, além da região Metropolitana, o comportamento das chuvas demonstrou que houve tendência de redução das precipitações (em algumas destas áreas, a tendência foi quase de estabilidade).

Para (CONTI, 2001, p. 94)

Vários outros exemplos poderiam ser enumerados. Os recursos técnicos postos à disposição dos pesquisadores, tais como o sensoriamento remoto, as imagens orbitais, Sistemas de Informações Geográficas e outros, produzem inovações metodológicas. A Climatologia Geográfica utiliza-se amplamente dessas contribuições, sem abandonar procedimentos clássicos,

¹⁸ HARE, et alli. - 1977 "The making of desert: climates, ecology and society" *Economic Geography* 53 (4). Worcester (USA), Clark University, pp. 332-346.

¹⁹ WARREN, A. 1993 - "Desertification as a global environmental issue" *Geo-Journal* 31. Kluwer Academic Publication, pp.1-14.

²⁰ CONTI, J. B. - 1995 *Desertificação nos trópicos. Proposta de metodologia de estudo aplicada ao nordeste Brasileiro*. Tese de Livre-Docência apresentada ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP, 208 p.

como os estatísticos e quantitativos, desde que se mostrem adequados ao tema investigado. Como em outros setores da Geografia e nas demais ciências, a opção entre as diferentes propostas metodológicas, vincula-se, necessariamente, ao assunto tratado, aos objetivos e as escalas de análise.

Estatisticamente, as séries temporais são indicadores quantitativos e sua análise tem por objetivo investigar o mecanismo gerador, descrever o comportamento e fazer prognósticos. Podem expressar tendências, ciclos e variabilidade relevantes ou se revelar aleatórias, derivando, daí, seu interesse para a climatologia. Contudo, o perfil das séries, para ser confiável, exige grande quantidade de observações ao longo do tempo. A maioria dos estudos de séries temporais, mesmo em nível internacional, trabalha com poucas décadas e, mesmo em virtude da insuficiência de dados, os resultados têm sido considerados expressivos pela comunidade científica (CONTI, 2012).

5.6 Dados confiáveis e variabilidade climática

É sabido que dados hidrológicos confiáveis são fundamentais no planejamento e na gestão dos recursos hídricos.

[...] porque podem apontar caminhos para a adequação de políticas públicas e para a alocação de programas, projetos e obras. Para isso, torna-se necessária a utilização de séries hidrológicas de boa qualidade, ou seja, séries representativas e consistentes, com longos períodos de dados. (ANA, 2016, p. 39).

Segundo (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007, p. 123)

As condições climáticas na Terra sofrem flutuações contínuas. Dependendo da escala de tempo em que se trabalha é possível visualizar essa variabilidade e definir o que são mudanças climáticas.

A OMM (Organização Meteorológica Mundial) sugere séries temporais de no mínimo 30 anos.

[...] estudos de disponibilidade hídrica em grandes bacias, simulação da operação de sistemas de reservatórios, estudos de identificação e atribuição de tendências, ou desenvolvimento de índices para monitoramento de secas, não carecem de uma resolução espacial muito alta, mas necessita de séries históricas longas (ANA, 2016, p. 42).

No entanto, é muito difícil de se encontrar postos meteorológicos nestas condições. Cunha e Vecchia (2007) descrevem esta dificuldade.

Assim, como a presente pesquisa possui uma extensa série de dados, com uma quantidade mínima de falhas, e mesmo assim, estas sendo corrigidas, ao detectar alguma variação significativa, pode ser sinônimo de mudança no comportamento da precipitação, o que pode interferir na recarga do aquífero Guarani, interferindo, portanto, no abastecimento de água da população que habita esta região.

O procedimento técnico empregado, ou seja, a análise de séries temporais, pode ser utilizado em qualquer região do globo, para diversos fins, desde que se tenha dados suficientes disponíveis. A pesquisa resgata a importância dos procedimentos empregados pela Climatologia Tradicional, que foca seus estudos num único fator climático, neste caso, a precipitação pluvial, além de dar maior relevância às médias e sua variação no transcorrer do tempo.

A realização desse estudo orienta-se na consideração do conceito de variabilidade adotado pela Organização Meteorológica Mundial (OMM), “que estabelece a variabilidade climática como a maneira pela qual os parâmetros climáticos variam no interior de um determinado período de registro” (ELY, 2006, p. 114).

“A variabilidade da pluviosidade está associada às mais diversas interações (atmosfera-oceano, solo-vegetação-atmosfera, entre outras). Acredita-se que de muitas delas nem se tem conhecimento ainda” (BALDO, 2006, p. 99).

Segundo (ANGELOCCI; SENTELHAS, 2007, p. 1), variabilidade climática é “uma variação das condições climáticas em torno da média climatológica”. Anomalia climática é “uma flutuação extrema de um elemento em uma série climatológica, com desvios acentuados do padrão observado de variabilidade”. Já o termo de mudança climática “designa uma tendência de alteração da média no tempo”. Estes autores ressaltam que não há uma diferença absoluta entre os termos variabilidade e mudança climática, “pois dependendo da escala de tempo em que se trabalha, certa flutuação que poderia ser considerada uma variabilidade numa escala de milênios, pode ser considerada uma mudança na escala de décadas ou séculos”.

Segundo Blain (2010), o tema mudança climática tem sido uma das maiores preocupações da comunidade científica mundial atualmente. Segundo este autor o relatório do Painel Intergovernamental para a Mudança Climática (IPCC, 2007), define este termo como “alterações nos padrões climáticos”, podendo

ser identificadas por meio de variações persistentes por longos períodos, da ordem de décadas, na média aritmética e/ou em outras medidas da variabilidade climática, independentes de suas causas.

Todavia, é importante lembrar que pesquisas sobre variações nos padrões climáticos do planeta não são recentes. Blain (2010) afirma que em

[...] nota técnica n.º 79 (OMM, 1966), por exemplo, afirma-se que a análise de séries temporais meteorológicas demonstra claramente a inconstância do clima. Para esse relatório, mudança climática é um termo genérico que engloba todas as formas de inconstância nos padrões climáticos, tais como tendências ou variações, independentemente de suas causas.

Assim, o termo Tendência Climática é definido por uma “elevação ou diminuição suave e monótona nos valores médios de uma série meteorológica”. Logo, não é necessariamente “restrito a tendências lineares em função do tempo, mas deve ter apenas um máximo ou mínimo no ponto final da série”. Já o termo Variação Climática significa

flutuação ou componente desta em escala de tempo suficientemente longa, capaz de resultar em inconstância nos parâmetros estatísticos relativos a períodos sucessivos de pelo menos 30 anos da variável meteorológica em questão (BLAIN, 2010).

Segundo (KOUSKY; CAVALCANTI²¹, 1984 apud NASCIMENTO; NERY, 2005, p. 10032), na América do Sul, o clima apresenta variabilidade interanual, podendo ser observado

pelas diferenças no escoamento do vento, nebulosidade, precipitação pluvial e comportamento dos sub-sistemas sinóticos. Um dos fatores de grande escala que são responsáveis pela variabilidade climática é a ocorrência do episódio El-Niño Oscilação Sul (ENOS), que é o aquecimento das águas do oceano Pacífico. A América do Sul é influenciada pelo ENOS direta e indiretamente, através da variação da circulação atmosférica

5.7 Conceitos e formações que envolvem o SAG

²¹ KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I.F.A., 1984: Eventos Oscilação Sul/El Niño: característica evolução e anomalias de precipitação. Ciência e Cultura. Vol. 36, nº 11, p. 1888-1899.

O mapa da figura 18 representa as unidades aquíferas do estado de São Paulo:

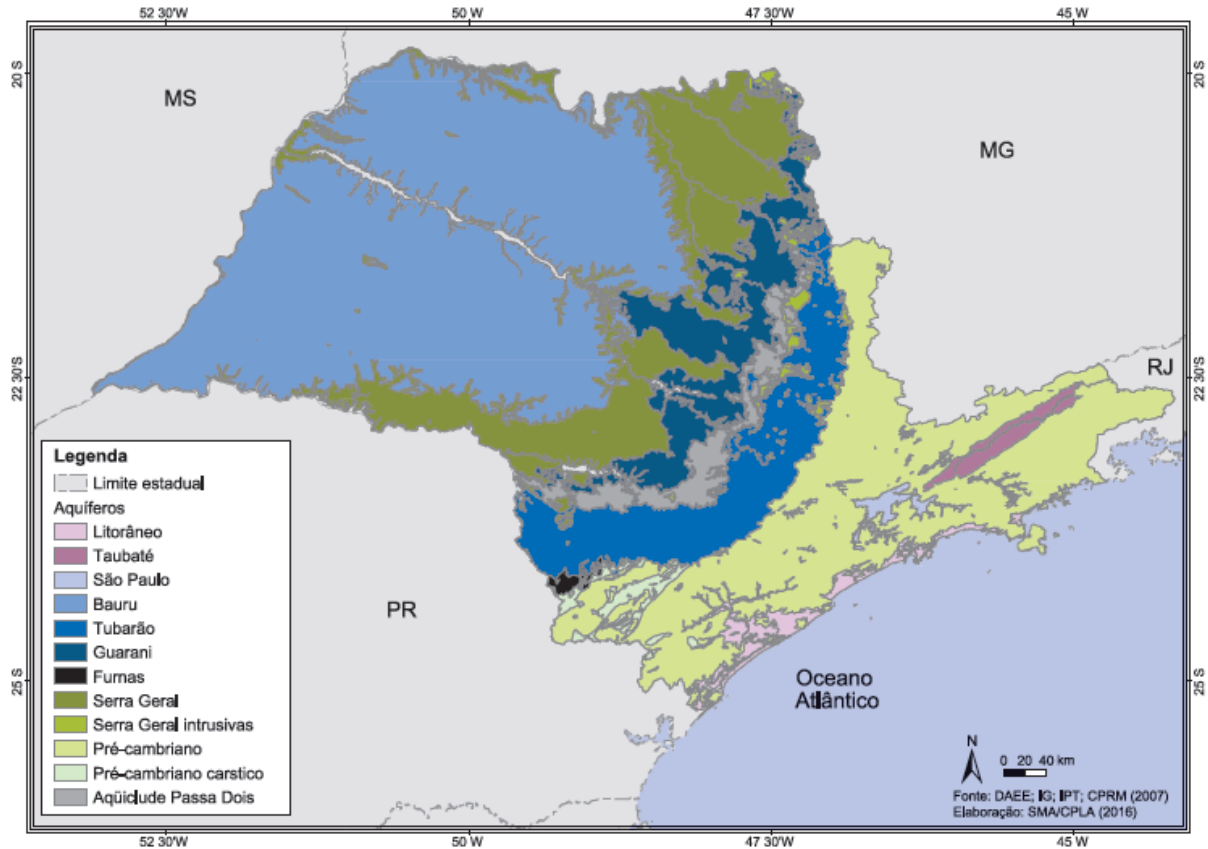


Figura 18: Unidades Aquíferas do Estado de São Paulo
Fonte: (São Paulo, 2016)

Em azul escuro temos o Aquífero Guarani. Segundo (IRITANI; EZAKI, 2009) as águas subterrâneas distribuem-se em diferentes aquíferos presentes no estado de São Paulo, distintos por suas características hidrogeológicas, as quais refletem em sua produtividade e na qualidade das águas. O estado de São Paulo possui aquíferos sedimentares (Guarani, Bauru, São Paulo, Tubarão, Taubaté, Furnas e Litorâneo) e fraturados (Serra Geral, Serra Geral Intrusivas e Pré-Cambriano). Há ainda o aquífero Passa Dois, que, por suas características predominantemente impermeáveis, não é considerado um aquífero, embora alguns municípios e empreendimentos, façam uso de suas águas.

Na figura 19 podemos ver as camadas que compõem o SAG na bacia do Paraná. A estrutura geológica da área de estudo, ou seja, do SAG aflorado na região de Ribeirão Preto, está representada pelo número 5 (cinco), isto é, pelas formações Pirambóia e Botucatu. Em 21% do território do município de Ribeirão Preto está

localizada justamente sobre esta área que não possui outra camada rochosa acima e, por isso, está aflorada, muito próxima à superfície. Já a formação 6 (seis) Serra Geral, é a área do SAG que está confinada, ocupando a maior parte do território do município. São basaltos que dificultam tanto a recarga direta quanto a extração pelo homem. Notamos que, acima desta camada ainda temos as formações do Grupo Caiuá e do Grupo Bauru.

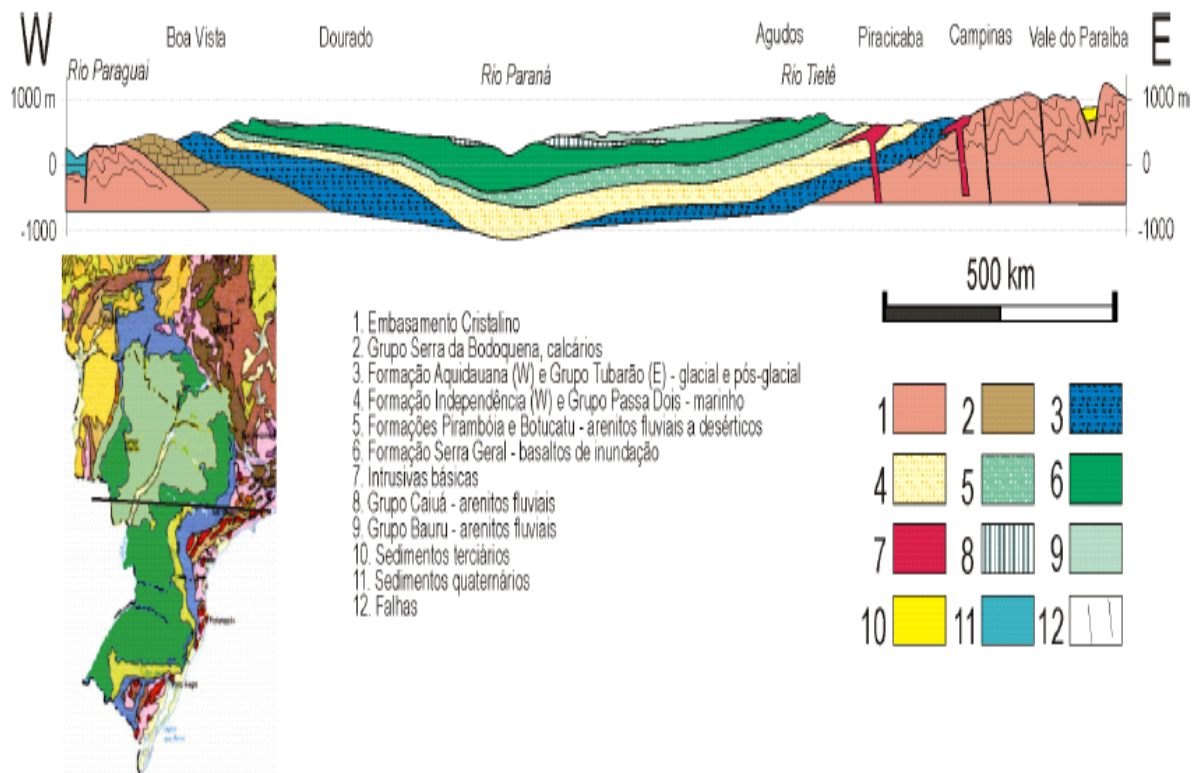


Figura 19: Unidades Estratigráficas componentes do Sistema Aquífero Guarani e da Bacia do Paraná em perfil E-W
Fonte: (Modelo 3D Aquífero Guarani).

Segundo (OLIVEIRA; CARNEIRO, 2008, p. 4)

Na base, os sedimentos arenosos, argilosos, lacustrinos, fluviais e eólicos da Formação Piramboia, do período Triássico, seguida de sedimentos eólicos e arenosos da Formação Botucatu. Nesta, o período de deposição dos arenitos foi marcado por um clima árido e os sedimentos apresentam-se dispostos em sucessivas camadas de dunas estratificadas de forma assimétrica. Intercalados aos arenitos da Formação Botucatu, encontram-se os derrames de lavas basálticas da Formação Serra Geral, decorridos no início do Cretáceo. Nas porções centrais estes derrames chegam a apresentar 1.500 m de espessura; o vulcanismo da época foi responsável por causar falhamentos, arqueamentos e soerguimentos nas bordas da bacia do Paraná, alterando sua configuração original. No Neocretáceo, depositaram-se sobre

os basaltos sequências de arenitos calcíferos, pertencentes aos Grupos Bauru e Caiuá, os quais formam uma sobrecapa no aquífero.

Conforme (RODRIGUEZ, 2010, p. 139)

Os depósitos Vulcano-sedimentares do Grupo São Bento pertencente à idade Triássico-cretácea se subdivide em dois grandes pacotes de natureza distintas. Estratigraficamente posicionados abaixo se encontram os sedimentos fluvio - eólicos pertencentes às Formações Piramboia e Botucatu. Acima, e em discordância com estes sedimentos, encontram-se os derrames vulcânicos da Formação Serra Geral.

Segundo (DAEE et al, 2005) o Aquífero Guarani é composto por arenitos das formações Pirambóia, na base, e Botucatu, no topo. A Formação Pirambóia é constituída por arenitos de granulação média a fina, depositados em ambiente fluvio-lacustrino e eólico, rica em argila ou silte, calcífero, de cor cinza esverdeado. A Formação Botucatu é constituída predominantemente por arenitos de granulação média a fina, avermelhados, com grãos de alta esfericidade e bem selecionados, com intrusões de diabasio. A porção confinada, está recoberta pelos derrames basálticos da Formação Serra Geral, de basalto cinza.

Segundo (SANTOS, 2018, p. 21) o SAG

apresenta variações quanto as suas características locais de tipo de solo e áreas de confinamento, ou de afloramento. Assim, de acordo com o estudo realizado pela OEA (2009), foram delimitadas três áreas que apesar de similares, devem ser geridas de acordo com suas particularidades, que são as zonas de afloramento – ZA, zona de confinamento – ZC e zona de forte confinamento – ZFC.

A Figura 20 representa estas três áreas. Segundo a (OEA, 2009) as formações geológicas do SAG no Brasil são a Formação Botucatu e Piramboia e estima-se que essas formações, na área do Brasil, possuem entre 130 e 250 milhões de anos.

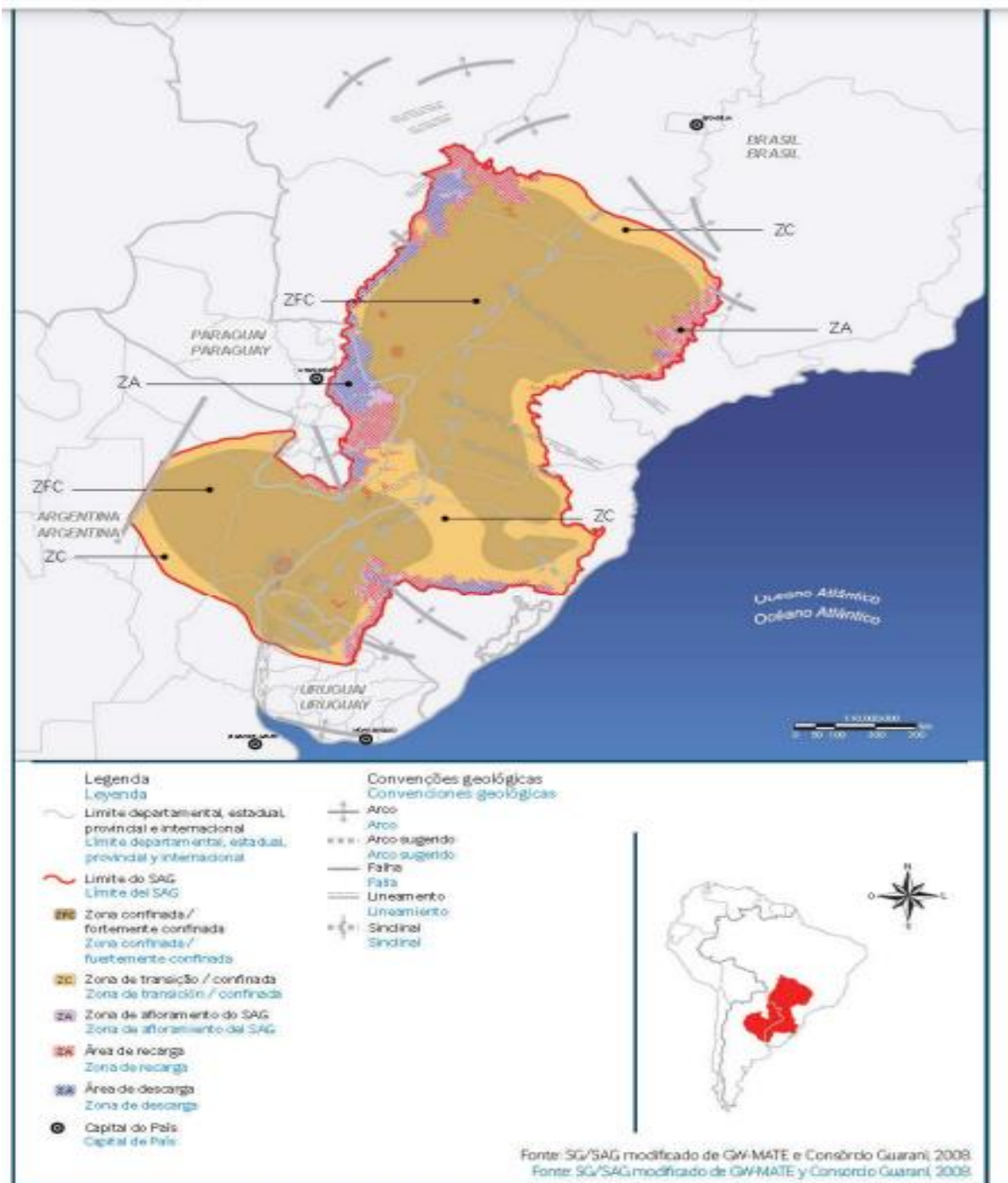


Figura 20: Zonas de Afloramento, Zonas de Confinamento e Zonas de Forte Confinamento do Sistema Aquífero Guaraní. Fonte: (SANTOS, 2018)

O mapa da figura 21 mostra o SAG aflorado na parte urbanizada do município de Ribeirão Preto. Nesta área, embora o SAG esteja aflorado, não ocorre a recarga. Ou seja, se trata da área aflorada desperdiçada pela impermeabilização do solo decorrente da urbanização. Vale lembrar que nestas áreas mesmo havendo permeabilidade para a recarga, pode haver risco de contaminação segundo o tipo de

ocupação do solo, como por exemplo, na existência de postos de gasolina não fiscalizados. Por outro lado, sabemos que há áreas urbanizadas não impermeabilizadas, como área de parques, por exemplo, que permitem a recarga. Em contrapartida, nestas áreas, pode haver captação das águas subterrâneas. Mas, não foi possível quantificar estas áreas.

Embora o mapa não delimite o território municipal, fica claro o porquê da preocupação com a expansão urbana para a parte leste. A área mais clara é a Formação Serra Geral, onde o SAG está confinado.

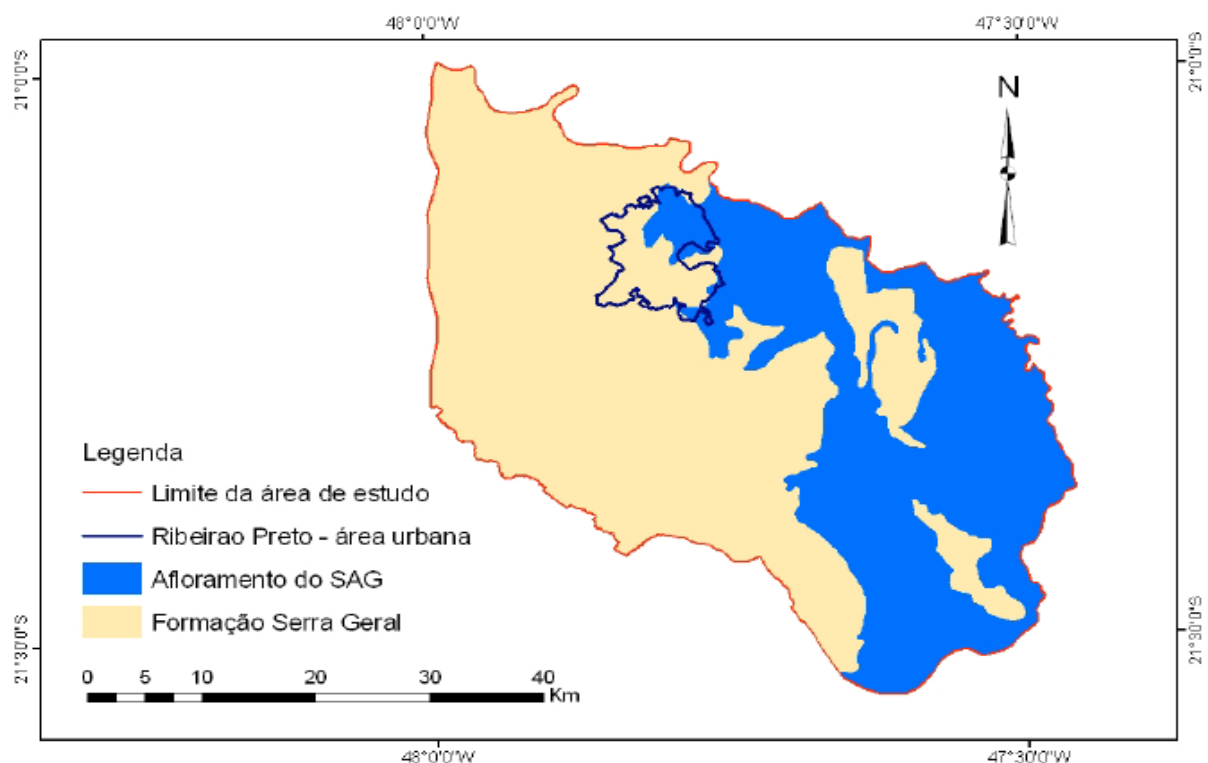


Figura 21: Área de Afloramento do SAG na área urbana do município de Ribeirão Preto e no seu entorno

Fonte: (CAVICCHIA, 2007)

Segundo Cavicchia (2007, p. 44)

Na distribuição espacial distinguem-se as áreas da zona leste e zona nordeste da região com afloramentos das Formações Botucatu-Pirambóia, e as áreas da zona central, sul, oeste, norte e noroeste com afloramentos de magmatitos básicos (basaltos). As camadas do aquífero mergulham no sentido leste-oeste (eixo do rio Paraná).

Conforme (SMA/ São Paulo & StMUGV/ Baviera²², 2004, apud CAVICCHIA, 2007, p. 45)

Na área de afloramento a leste, o Aquífero Guarani é livre, enquanto que na área a oeste ele é, na maior parte, semiconfinado ou confinado devido à sobreposição dos basaltos da Formação Serra Geral. Nos vales do Córrego Ribeirão Preto e em outros rios, a espessura da cobertura das águas subterrâneas do SAG é geralmente menor que 50 metros. Nas áreas adjacentes, ela atinge mais de 100 metros.

“Localmente, o Rio Pardo constitui-se na drenagem principal da área, tendo a maioria dos rios como afluentes. Assim, a tendência é que o fluxo subterrâneo seja também para o Rio Pardo” (CAVICCHICA, 2007, p. 56)

“As áreas a leste do domínio (regiões de afloramento do Guarani), funcionam como áreas de recarga, com drenagem própria. O excedente escoia subsuperficialmente para oeste, em direção à calha do Rio Paraná” (CAVICCHIA, 2007, p. 56).

O mapa da figura 22 nos mostra a geologia e o corte na área de Ribeirão Preto.

²² SMA/São Paulo & StMUGV/Baviera, 2004. Sistema de Informação para o gerenciamento ambiental dos recursos hídricos subterrâneos na área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo. Projeto em cooperação com a Secretaria de Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção ao Consumidor do Estado da Baviera (Alemanha). São Paulo.

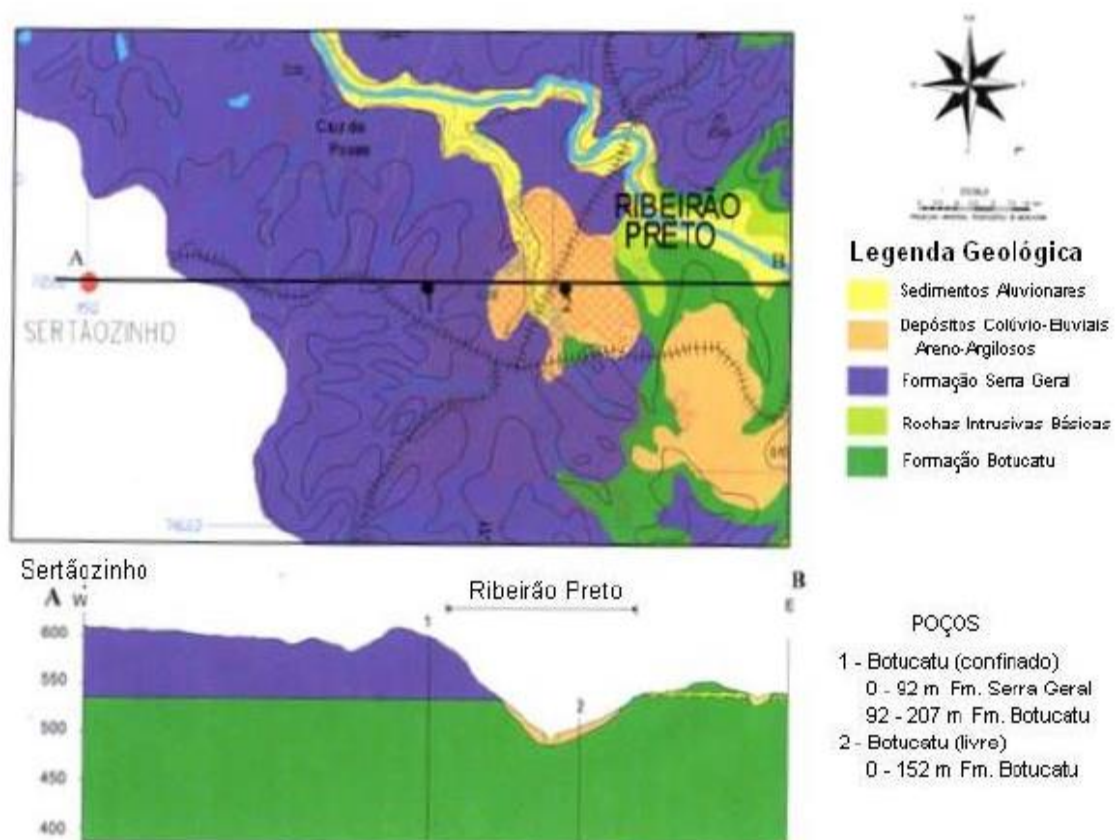


Figura 22: Geologia e corte da região de estudo
Fonte: (CAVICCHIA, 2007)

Em 1 temos os basaltos da Formação Serra Geral sobre a Formação Piramboia/Botucatu, área que corresponde, portanto, ao SAG confinado. Em 2, a Formação Piramboia/Botucatu não possui a Formação Serra Geral sobre ela e, portanto, representa a área aflorada do SAG. Sobre esta área há apenas os Depósitos Colúvio Eluvionares, se tratando de um solo pouco espesso, da Era Cenozoica, formado por processos sedimentares no período Quaternário. São referidos como solos ou como formações superficiais (SUGUIO, 2007).

5.8 Processo e estimativa de recarga

Segundo (RIGHETTO²³, 1998 apud CUNHA, 2003, p. 15)

²³ RIGHETTO, ANTONIO MAROZZI. 1998. Hidrologia e Recursos Hídricos. São Carlos, EESC/USP. EDUSP, 819p.

A precipitação, ao atingir a superfície do terreno, pode tornar-se escoamento superficial ou infiltração, dependendo da intensidade da chuva exceder ou não a capacidade de infiltração, definida por ser a proporção máxima com que um solo é capaz de absorver água. Há fatores no solo que intervêm na capacidade de infiltração, como: umidade, permeabilidade, temperatura e profundidade do extrato permeável. A permeabilidade é o fator preponderante no fenômeno da infiltração.

Libardi²⁴ (1995 apud CUNHA, 2003, p. 14-15) afirma que

A infiltração é um processo pelo qual a água penetra nas camadas superficiais do solo e se move para baixo, em direção ao lençol d'água. Essa água preenche inicialmente as deficiências de umidade do solo e, em seguida, qualquer quantidade excedente desloca-se para baixo, em função da ação da gravidade, e torna-se recarga de reservatório de água subterrâneo.

A recarga pode ser explicada como a água que infiltra no solo e alimenta a zona saturada do aquífero, adicionando volume à reserva de água subterrânea (IPT, 2011). Assim, “a recarga das águas subterrâneas é um dos principais fatores para o ciclo hidrológico” (GONÇALVES; SANTAROSA; MANZIONE, 2016, p. 2).

Segundo (CHANG; CARNIER NETO, 2008) a recarga pode ocorrer de três formas: a recarga direta, onde a água é adicionada à reserva subterrânea por meio de percolação vertical direta; a recarga indireta que pode ocorrer por interação com os leitos dos cursos d'água superficiais; e a localizada que acontece devido a concentração de água num determinado local, por questões de geomorfologia do terreno, ou outras características locais. Como resultado dessa recarga pode-se obter a recarga efetiva do aquífero, que é aquela que realmente atinge o lençol freático e a recarga potencial em que a água infiltra no solo, mas pode não atingir o aquífero.

A ANA (2011, p. 25) reconhece a necessidade de conhecer os valores de recarga do aquífero de modo a garantir a exploração sustentável das águas subterrâneas.

[...] É importante que a vazão máxima a ser captada seja sustentável em termos de recarga, uma vez que a superexploração (retirada excessiva de água) pode levar o aquífero à exaustão. Portanto, é muito importante a realização de estudos para avaliar o fluxo de águas subterrâneas, as áreas de recarga, o potencial dos aquíferos em termos de disponibilidade sustentável, além da determinação das interações rio-aquífero, que corresponde à relação entre o rebaixamento do lençol freático e os níveis de água dos rios.

²⁴ LIBARDI, PAULO LEONEL. (1995). Dinâmica da Água no Solo. Departamento de Física e Meteorologia ESALQ/USP, Piracicaba, 497p.

Para (FERDOWSIAN; PANNELL²⁵, 2009 apud SANTOS, 2018, p. 15)

Essa análise da recarga auxilia na gestão de recursos hídricos, pois suas estimativas podem fornecer dados sobre o volume que poderá ser captado de modo sustentável, indicando possíveis ameaças aos recursos hídricos e a relação das precipitações com as águas subterrâneas.

Segundo Hirata et al. (2015) para atender a demanda, as vazões de exploração devem ser estimadas de acordo com a relação entre a recarga e a retirada de água. Deve-se atentar a fatores locais como o tipo de solo, ocupação do território e a precipitação local, assim como um projeto adequado de construção e manutenção periódica dos poços, de modo a evitar contaminações.

Gonçalves, Santarosa e Manzione (2016) afirmam que além de métodos baseados no balanço hídrico, para se estimar a recarga de águas subterrâneas, há na literatura, uma variedade de métodos que podem ser utilizados, definidos a partir das zonas: saturada, não saturada, e de água superficial.

O presente trabalho baseou-se no estudo feito pela (FIPAI, 1996), que estimou, para a região de Ribeirão Preto (zona de afloramento do Aquífero Guarani), uma taxa de infiltração de 20,3% da precipitação (298,2 mm/a) e uma taxa de recarga de 4,7% da precipitação (69,0 mm/a). Esses valores foram estimados através do balanço hídrico realizado com base em dados hidroclimatológicos de 1985 a 1994. A evapotranspiração foi estimada pelo método de Thornthwaite.

Segundo (SANTOS, 2013) de acordo com o método de Thornthwaite e Mather, solucionar o balanço hídrico de um solo, significa resolver a equação da continuidade para aquele solo, ou seja, considera-se uma certa camada de solo como um sistema e a água como um fluido incompressível. Assim, “a diferença entre a quantidade que entra no sistema e a que sai do mesmo sistema é igual à variação do armazenamento de água neste sistema”.

Se considerarmos apenas o movimento vertical da água, o que entra neste sistema é apenas a água devida à precipitação, enquanto o que sai é devido à evapotranspiração e à água que percola abaixo do alcance do sistema radicular da cultura. (SANTOS, 2013).

Outros pesquisadores também fizeram estudos sobre a recarga em aquíferos.

²⁵ FERDOWSIAN R.; PANNELL, D.J. Explaining long-term trends in groundwater hydrographs. In: WORLD IMACS/MODSIM CONGRESS, 18, 2009, Cairns, Australia. Proceedings of the [...] Cairns, 2009. Disponível em: <https://www.mssanz.org.au/modsim09/11/ferdowsian.pdf>. Acesso em: 02 maio 2017.

Em Bofete, SP, com dados de 2012 a 2016, a taxa de recarga ficou “entre 30 e 48% da precipitação” (SANTOS, 2018, p. 9). Entretanto, “os valores obtidos referem-se à recarga total, pois o método utilizado não contempla as descargas” (SANTOS, 2018, p. 83).

“A estimativa de recarga direta no ano de 2005 através do balanço hídrico na bacia do Ribeirão da Onça foi de aproximadamente 400 mm, aproximadamente 29% da precipitação” (BARRETO, 2006, p. 159). Contudo, a recarga profunda, que pode efetivamente recarregar o SAG, é reduzida a 3% da precipitação anual (BARRETO, 2006). A bacia do Ribeirão da Onça localiza-se na região do município de Brotas-SP. “Uma característica importante desta bacia é situar-se quase inteiramente em uma das regiões de afloramento do SAG” (BARRETO, 2006, p. 61).

De acordo com IPT (2011) há estudos que demonstram que na área de afloramento do SAG a recarga é aproximadamente 200 mm/ano, contudo, segundo a OEA (2009), os excedentes hídricos na área de afloramento do aquífero variam de 350 a 450 mm/ano na região norte e 650 a 750 mm/ano na região sul, esse valor gera uma recarga profunda de 10 a 20 mm/ano. (SANTOS, 2018, p. 84).

Outro estudo, na região de São Carlos, a taxa de recarga direta potencial foi estimada em 55,6% da precipitação, para o período de 2002. “Essa relação de 55,6% representa o limite máximo de recarga potencial para o Aquífero Guarani, na região de São Carlos” (CUNHA, 2003, p. 46). O mesmo estudo ainda afirma que

Análises do comportamento da água no solo, demonstraram que a recarga em aquíferos subterrâneos ocorre somente em períodos de chuva (novembro a março). Para o período seco (abril a outubro) as precipitações esparsas não são suficientes para suprir a deficiência de umidade do solo (CUNHA, 2003, p. 15).

E ainda, Cunha (2003, p. 14) afirma que

A maior parte de recarga dá-se no mesmo dia de ocorrência da chuva e o nível de recarga depende muito da intensidade e antecedentes da chuva. Chuvas isoladas, mesmo na ordem de 25 mm/dia não produziram alteração significativa nos níveis do lençol freático.

Segundo HIRATA et al. (2015) a recarga na área de afloramento corresponde a aproximadamente 150 – 200 mm/ano.

De acordo com OEA (2009) aproximadamente 10 a 20 mm/ano corresponde à recarga profunda no SAG.

Para Santos (2018, p. 84)

O SAG tem potencial de fornecer água e obter a recarga mesmo em períodos que tendem ao declínio. Pode ser observado que os níveis piezométricos sobem e descem a todo o momento, representando pequenos eventos de recuperação, que são computados como recarga.

Alguns estudos demonstram que a cobertura do solo influencia na taxa de recarga do aquífero. Santos (2018, p. 84-85) afirma que:

[...] de acordo com o estudo realizado por Lucas, Guanabara e Wendland, (2012) em área de afloramento do SAG, na bacia do Ribeirão da Onça, no município de Brotas distante aproximadamente 100 km de Bofete, foram encontrados maiores valores de recarga em áreas de pastagem e cana-de-açúcar respectivamente, em relação às áreas de eucalipto e citros. Os autores calcularam a recarga na bacia encontrando valores entre 80 mm e 359 mm, que correspondem a 7% e 20% da precipitação anual no local. Em Bofete há plantação de citros e eucalipto, que representam 17% da área do município, sendo que são cultivos que não favorecem a recarga subterrânea.

5.9 Exploração do aquífero e problemas associados

Segundo (IPT, 2011; OEA, 2009) o SAG pode ser classificado como um sistema aquífero sedimentar, eficaz no fornecimento e armazenamento de água, possuindo, portanto, uma boa produtividade. Sua exploração é mais viável no aquífero livre, devido à baixa profundidade do nível estático. As águas do SAG têm boa qualidade e são aptas ao consumo humano. Segundo a (OEA, 2009) as áreas de afloramento e recarga apresentam maior potencial de exploração.

“O Aquífero Guarani é adequado ao consumo humano devido à qualidade da água e ao fato da formação sedimentar apresentar boa proteção contra os agentes de poluição” (CUNHA, 2003, p. 2).

O alto crescimento do uso da água subterrânea se deve a vários fatores como: os baixos custos de captação da água subterrânea em relação à água superficial, por dispensarem a construção de obras de barramento, adutora de recalque e estação de tratamento, desde que a captação tenha sido construída e seja operada de forma adequada, os poços que apresentam um bom nível de engenharia nas fases de projeto, construção e operação, têm vida útil entre vinte e trinta anos, com amortização dos investimentos realizados em apenas cerca de um terço desse período; um litro de água proveniente do poço profundo, em alguns casos, pode custar 15 vezes menos

que um litro de água proveniente de recursos hídricos superficiais (REBOUÇAS²⁶, 2001 apud CUNHA, 2003, p. 1).

De acordo com Oliveira e Carneiro (2008, p. 2) há aproximadamente 40 anos, o Aquífero Guarani era praticamente desconhecido. Uma grande exploração no Estado de São Paulo começou na década de 70 e hoje já conta com mais de 2.000 mil poços perfurados. Esse número vem aumentando de forma desordenada e pode, num futuro próximo, comprometer a dinâmica destas águas.

A maioria dos poços têm vazões inferiores a 50 m³/h. De acordo com as outorgas dadas, as maiores vazões são para o uso de irrigação (IPT, 2011).

As águas subterrâneas geralmente são extraídas por poços, mas podem ser aproveitadas diretamente das próprias nascentes. “As nascentes são pontos de descarga natural dos aquíferos que interceptam a superfície e que depois darão origem a corpos de água superficiais, como rios ou lagos” (HIRATA et al., 2019, p. 45)

Há dois tipos de poços. Comumente chamados de poços artesianos, os poços tubulares são perfurações cilíndricas e verticais, realizadas por meio de maquinário próprio, normalmente revestidos com o material em PVC aditivado ou em aço e podem atingir até 2.000 metros de profundidade e o diâmetro varia conforme os tipos de rochas, variando entre 4 e 18 polegadas.

O poço artesiano é um tipo de “poço tubular em que a água se eleva de forma natural, sem ajuda de bombas, jorrando acima da superfície do solo” (HIRATA et al., 2019, p. 45).

O poço semiartesianos é um tipo de poço tubular que atinge apenas a profundidade de 60 metros.

Há também o poço escavado, também chamado de cacimba, poço raso, poço amazonas, poço caipira entre outros. A perfuração é feita com ferramentas manuais como pás e enxadas. Geralmente é revestida por tijolos ou anel de concreto. Com diâmetro de 1 a 2 metros, podem atingir profundidades de até 25 metros (HIRATA et al., 2019).

Importante ressaltar que há diferença entre os termos exploração e exploração. Segundo a (EMBRAPA, 2010),

Exploração é o processo de busca de novos recursos. Ocorre em situações em que não há informação. Exploração é o processo em que há uso de

²⁶ REBOUÇAS, A.C., (2001). Outorga de Direito e Cobrança do uso da água subterrânea. ABAS Informa, Janeiro-nº 110, p.

informação previamente conhecida, permitindo tirar proveito econômico de determinada área, sobretudo quanto aos recursos naturais.

“Observa-se que 90% da extração atual ocorrem em território brasileiro, onde o Estado de São Paulo concentra o maior número de poços e extrai a maior quantidade de água” (OEA, 2009, p. 141).

Segundo (SANTOS, CHANG, KIANG, 2012) o estado de São Paulo é o principal usuário destas águas subterrâneas, respondendo por mais da metade dos poços cadastrados que exploram o SAG”.

Ribeirão Preto é apontada como a cidade que mais pode sofrer as consequências no futuro. A conclusão é dos especialistas Ricardo Hirata, diretor do Centro de Pesquisas de Água Subterrânea do Instituto de Geociências da USP, e Paulo Finotti, presidente da Sociedade de Defesa Regional do Meio Ambiente (ANA, 2011).

“Luiz Amore, coordenador do Projeto Aquífero Guarani, afirma que Ribeirão é a única cidade onde a água consumida é maior que a recarregada. ‘Isso é resultado de uma falta de controle sobre o quanto entra e o quanto sai’” (ANA, 2011).

Segundo Hirata, "Existe uma voracidade pelo consumo que, sem controle, pode acarretar problemas sérios nos próximos 50 anos em cidades que são abastecidas pelo manancial" (ANA, 2011).

Segundo dados mais recentes do Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto, o município tem 118 poços tubulares profundos em funcionamento. Eles são responsáveis pela captação de 14,84 mil metros cúbicos (14,84 milhões de litros) de água por hora. A cidade tem 117 reservatórios, com capacidade para reservar 146 mil metros cúbicos de água (DAERP, 2021).

Todavia, “estima-se, para todo estado, a existência de mais de 900 poços que exploram água do SAG, situação essa que preocupa os órgãos gestores de recursos hídricos” (SANTOS et al., 2008, p. 2).

O mapa da figura 23 representa a quantidade de poços perfurados na região. Fica nítido que no município de Ribeirão Preto é onde se concentra a enorme quantidade de poços perfurados.

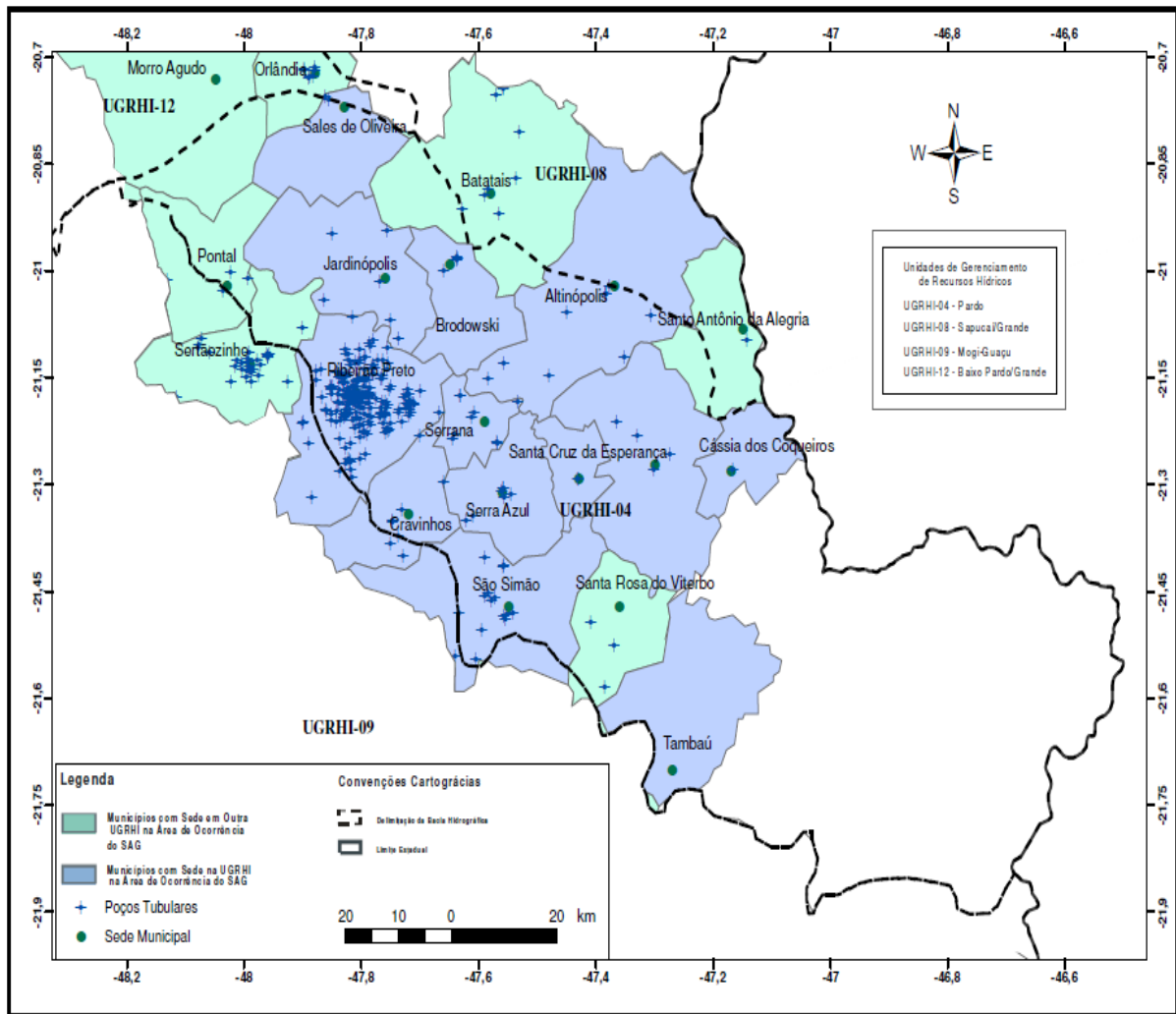


Figura 23: Poços perfurados no Sistema Aquífero Guarani na UGRHI-04 e nos municípios adjacentes a Bacia.
Fonte: (SANTOS et al., 2008)

Frequentes vazamentos que ocorrem na rede de distribuição são responsáveis por cerca de um terço de toda água captada do aquífero, o equivalente a 67 mil m³ por dia. Na zona leste do município ribeirão-pretano, a recarga repõe quatro vezes menos água utilizada pelo município, piorando cada vez mais com o processo de impermeabilização do solo (CASTRO, 2015).

Os estudos mais recentes realizados pelo Professor Edson Cezar Wendland, da escola de Engenharia de São Carlos, mostram que a parte do aquífero localizada na área central de Ribeirão Preto baixou 70 metros nos últimos 80 anos. Quando falamos sobre a captação de água de uma reserva que é parcialmente recarregável, mas também tem parte de sua água armazenada há milhares de anos devemos considerar que onde há recarga o limite da exploração deve ser a recarga anual estimada, podendo apresentar uma grande variação nos meses do ano devido à diferença no volume de chuva. Onde não há recarga é sabido que caso haja consumo, em algum momento a reserva se esgotará (CASTRO, 2015, p. 53-54).

Segundo (CASTRO, 2015), além dos vazamentos na rede de distribuição, a perfuração indiscriminada de poços também são responsáveis pelo desperdício de água limpa e é papel da administração pública municipal fiscalizar e coibir estas práticas. Segundo ele, o estado de São Paulo é o maior usuário das águas subterrâneas, tendo cerca de 65% de seus núcleos urbanos abastecidos por poços. Ressalta que a Lei 9.433, em seu artigo 49

[...] determinou que constitui infração iniciar a implantação ou implantar empreendimento relacionado a derivação ou utilização de recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos, que implique alterações no regime, qualidade ou quantidade destes, sem que seja autorizado pelos órgãos competentes e perfurar poços para extração de água subterrânea ou operá-los sem a devida autorização (CASTRO, 2015, p. 54-55).

Segundo (HIRATA et al., 2015), em cidades de grande porte como São Paulo e Campinas, “há reduzidas disponibilidades hídricas naturais para atender a novas demandas” e, com isso, tem aumentado a perfuração do solo em busca por águas subterrâneas, inclusive poços particulares como indústrias, setor de serviços e até condomínios

Segundo a CETESB (1998) o município de Ribeirão Preto depende totalmente das águas do SAG para abastecimento de sua população. Parte dos poços explora o Aquífero Guarani e outra explora o Aquífero Serra Geral. O aumento da demanda é proporcional ao aumento da população. Como o município é polo de desenvolvimento regional e está em constante crescimento, implica em maior demanda de água e, também, de maiores riscos de contaminação dos recursos hídricos.

É necessária uma gestão sustentável dos usos do solo das áreas que estão localizadas sobre o SAG, na área confinada, mas principalmente nas áreas de recarga, pois são mais vulneráveis à contaminação. Além disso, “em alguns locais pode ter contaminação natural com Arsênio e Flúor” (SANTOS, 2018, p. 21).

“Desta forma, existe a necessidade de cuidados especiais quanto ao manejo dessas áreas, em particular quanto à disposição de produtos tóxicos, lixo urbano, rejeitos industriais e aplicação de agrotóxicos no solo”. (PARANÁ, 2019).

As áreas de recarga direta ou de afloramento do Sistema Aquífero Guarani têm se mostrado bastante expostas ao risco de degradação, seja por agrotóxicos, seja por processos erosivos, principalmente pelo avanço das atividades agrícolas sobre elas, sem muito critério em relação à capacidade de uso das mesmas. Esse cenário, comum no Brasil, aliado à alta vulnerabilidade natural das áreas de recarga do aquífero em questão,

colocam-nas em situação de alta exposição ao risco de contaminação do lençol freático como também favorece a formação de ravinas e voçorocas, principalmente como consequência de práticas agrícolas inadequadas. (GOMES; FILIZOLA; SPADOTTO, 2006, p. 67).

Segundo (GOMES; FILIZOLA; SPADOTTO, 2006, p. 67), estudos na região de Ribeirão Preto “evidenciaram que as atividades agrícolas utilizam uma carga considerável de produtos químicos potencialmente contaminantes, destacando-se alguns herbicidas usados intensivamente na cultura de cana-de-açúcar”.

Deve-se ainda considerar que no caso de poluição do aquífero, este não se assemelha aos rios, que se renovam em 15 ou 20 dias, pois os aquíferos demoram alguns milhares de anos para serem despoluídos, o que torna a situação ainda mais merecedora de atenção (CASTRO, 2015, p. 53).

Importante salientar que, de acordo com OEA (2009), diferentemente das águas superficiais, o tempo de retorno do aquífero é muito lento, e os impactos ambientais causados são muito mais graves, o que torna imperiosa sua prevenção, sem contar que a distribuição espacial das águas subterrâneas não coincide com a das águas superficiais.

Contudo, as águas subterrâneas, por não ficarem tão “visíveis” quanto as superficiais, muitas vezes não recebem um cuidado especial, pois como todo recurso natural e como componente do ciclo hidrológico está conectado ao território, ao clima, ao uso do solo e às atividades do entorno, tudo isso influencia na quantidade e qualidade dessa água (SANTOS, 2018, p. 37).

Segundo a (OEA, 2009; IPT, 2011), as áreas mais vulneráveis aos diversos impactos ambientais causados pelas atividades antrópicas são as áreas de afloramento e recarga do SAG. Para uma melhor gestão das águas subterrâneas, deve-se atentar aos usos e ocupações do solo, pois influenciam diretamente na forma como o SAG será explorado.

Como o abastecimento de água em Ribeirão Preto depende exclusivamente do aquífero Guarani, tão logo a utilização de águas superficiais será imprescindível para atender a demanda e o rio Pardo, localizado ao norte da cidade é a principal fonte (CASTRO, 2015).

O projeto para captação de água do Pardo enviado pelo Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto ao ministério das cidades tem o valor de

630 milhões de reais e o sistema teria capacidade para tratar 3000 litros de água por segundo. Aqui vale ressaltar que o custo de extração de água do Aquífero é 50 vezes mais baixo do que o custo de extração de águas fluviais (CASTRO, 2015, p. 54).

6. Metodologia, material e procedimentos

Inspirado em trabalhos de Conti (2001), Setzer (1946) e Sant'Anna Neto (1999), a metodologia de análise de séries temporais foi utilizada para atingir o objetivo proposto.

Para o cálculo da recarga, a FIPAI (1996) utilizou dados pluviométricos de uma série histórica de dez anos e considerou média pluviométrica anual de 1469 mm. Estimou uma taxa de recarga de 4,7% da precipitação anual, o que equivale a 69,0 mm. Utilizando dados do nosso pluviômetro, nos mesmos dez anos que a FIPAI estudou (janeiro de 1985 a dezembro de 1994), a média pluviométrica anual fica em 1470,4 mm. Utilizando a mesma taxa de recarga, 4,7%, a recarga fica em 69,1 mm por ano. Portanto, dados muito semelhantes.

Assim, o que o nosso estudo fez foi basicamente estender a série temporal de dez para sessenta anos e, também, dividir esta série em duas de trinta anos, comparando-se as médias dos dois períodos, complementando o trabalho antes realizado pela FIPAI.

Entretanto, além da análise comparativa das médias entre os dois períodos de trinta anos, o presente estudo propôs estudar a variabilidade pluviométrica em outras escalas temporais tal como a mensal, com a construção de pluviograma, decadal, comparando as médias pluviométricas de cada uma das seis décadas, sazonal e análise semestral, já que o semestre chuvoso é primordial para a recarga do Guarani.

6.1 A escolha do posto pluviométrico

Para cumprir o objetivo proposto, escolheu-se o posto pluviométrico Clube de Regatas, de código C4-075, obtido junto ao sítio eletrônico do Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SIGRH) pois, dentre aqueles disponíveis pelo SIGRH, na área de estudo, é o que apresenta, disparado, o maior período de dados mensurados concomitantemente com a menor quantidade de falhas. A Organização Meteorológica Mundial (OMM) sugere séries temporais de no mínimo 30 anos para os estudos climáticos. O presente estudo analisou o período de janeiro de 1951 a dezembro de 2010. Com dados diários, dos 21915 dias da série histórica, apenas 16 dias apresentaram falhas, o que equivale a 0,073% do total medido, ou seja, 99,927%

A figura 25 apresenta uma foto de um pluviômetro modelo Ville de Paris, instrumento utilizado para captar a água da chuva. Este não é o do presente estudo, serve apenas para ilustrar e, na figura 26, temos um desenho explicando como o pluviômetro funciona.



Figura 25: Foto de um pluviômetro modelo Ville de Paris. Fonte: (MÉLLO, A.; BONNECARRERE, J., 2018)

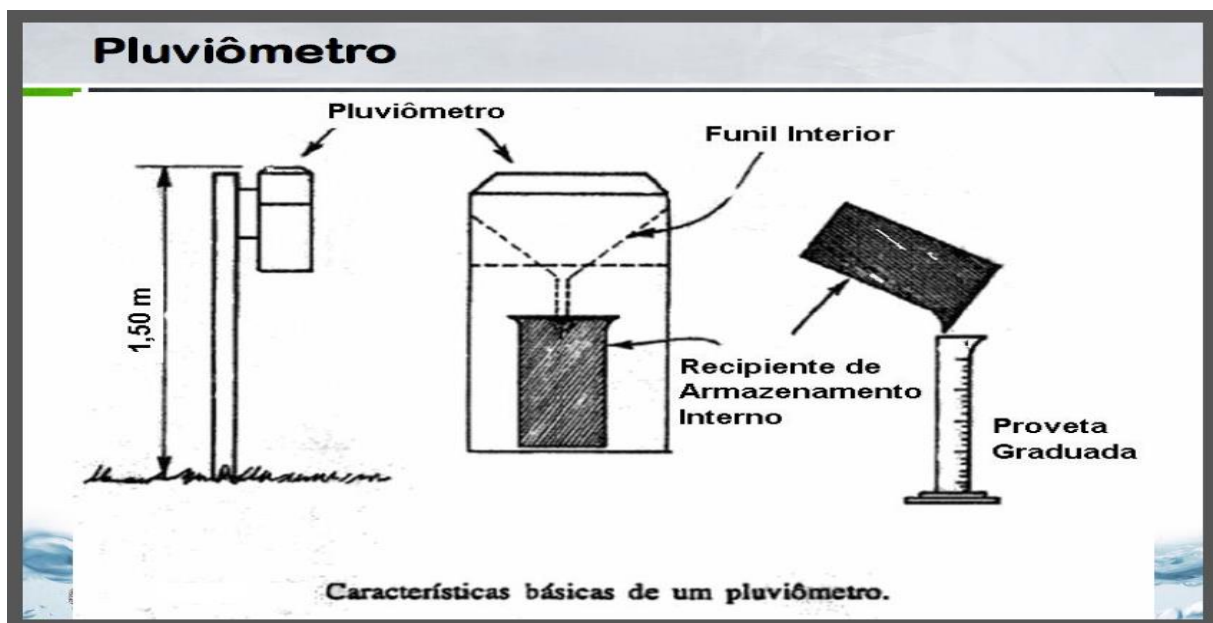


Figura 26: Representação esquemática do funcionamento de um pluviômetro
Fonte: (MÉLLO, A.; BONNECARRERE, J., 2018)

Portanto, o pluviômetro é fixado na extremidade de uma barra de 1,50 metro localizada num campo aberto, e dentro do pluviômetro, há um funil e um recipiente

que armazena a água da chuva. Sempre no mesmo horário, todos os dias, um funcionário faz a medição da altura que a água atingiu neste recipiente obtendo, assim, a quantidade de precipitação, em milímetros, do dia anterior.

A unidade de medida utilizada para verificar os acumulados de chuva é o milímetro (símbolo: mm). A pluviosidade é equivalente ao volume de um litro de água de chuva que se acumulou sobre um espaço de um metro quadrado (figura 27). Ou seja, quando dizemos que choveu 100 mm nas últimas 24 horas em um determinado local, significa que ocorreu uma precipitação de 100 litros para cada metro quadrado, caso a chuva fosse distribuída uniformemente e o solo impermeável (TEMPO AGORA, 2018).

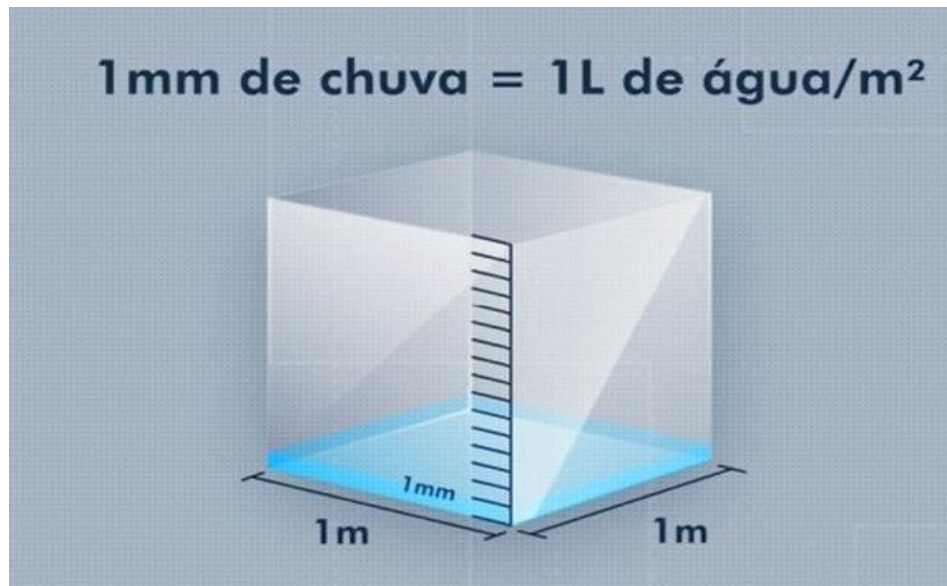


Figura 27: Representação esquemática de como é medido o volume de chuva
Fonte: (VASSOURAS, 2018)

6.4 Identificando as falhas

Segundo Bertoni e Tucci²⁷ (2001 apud ANA, 2012, p. 13),

[...] o objetivo de um posto de medição de chuvas é o de obter uma série ininterrupta de precipitações ao longo dos anos ou o estudo da variação das intensidades de chuva ao longo das tormentas.

²⁷ BERTONI, J. C. & TUCCI, C. E. M. Precipitação. In.: Hidrologia: ciência e aplicação, Org. Carlos E. M. Tucci, 2ª ed., 2. reimpr., Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

“Em qualquer caso, pode ocorrer a existência de períodos sem informações ou com falhas nas observações” (ANA, 2012, p. 13). Segundo (STRECK et al.²⁸, 2009; BERTONI; TUCCI²⁹, 2007 apud OLIVEIRA et al., 2010, p. 1187)

A existência de falhas nas séries históricas se deve, basicamente, à ausência do observador, falhas nos mecanismos de registro, perda das anotações ou das transcrições dos registros pelos operadores e encerramento das observações. Entretanto, como existe a necessidade de se trabalhar com séries contínuas, essas falhas necessitam ser preenchidas.

A tabela 1 representa os 16 dias identificados com falhas. Notamos que, algumas falhas ocorreram em datas especiais como o Natal e o primeiro dia do ano. Há registro de falha também no dia 29 de fevereiro, que ocorre a cada quatro anos, podendo ter havido esquecimento no primeiro caso e confusão no segundo, por parte do funcionário responsável pela medição. Entretanto também há falhas aleatórias e não sabemos o real motivo de cada uma delas.

Tabela 1 - Identificação dos dias com falhas

Dias	
1º	15-01-1980
2º	07-02-1983
3º	27-06-1983
4º	29-06-1983
5º	31-01-1991
6º	29-02-1992
7º	01-01-2005
8º	26-09-2006
9º	27-09-2006
10º	28-09-2006
11º	29-09-2006
12º	30-09-2006
13º	25-12-2008
14º	03-10-2010
15º	24-12-2010
16º	25-12-2010

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

²⁸ Streck, N. A.; Buriol, G. A.; Heldwein, A. B.; Gabriel, L. F.; Paula, G. M. de. Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a oscilação decadal do Pacífico. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, n.12, p.1553-1561, 2009.

²⁹ Bertoni, J.C.; Tucci, C.E.M. Precipitação. In: Tucci, C.E.M. Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre. UFRGS, 2007. P. 177-241.

6.5 Suprindo as falhas

Após a tabulação dos dados retirados do SIGRH, no Microsoft Excel, foram tratadas as falhas diárias, supridas pelo método do coeficiente de Pearson e da regressão linear.

Para o preenchimento das falhas nas séries históricas, (LEIVAS; BERLATO; FONTANA, 2006, p. 399) aconselham a seleção das “estações meteorológicas da mesma região ecoclimática e altitude semelhante”, caracterizando-a como hidrologicamente homogênea. Conforme (SEMAD/IGAM, 2015, p. 6)

A condição espacial da precipitação sugere sempre a necessidade de analisar os dados de conjuntos de estações de medição pluviométricas próximas para permitir o preenchimento de lacunas nos registros ou a substituição de dados observados e considerados errôneos.

“Assim, deve-se lançar mão de estações situadas em bacias ou regiões vizinhas numa análise de registros pluviométricos” (ANA, 2012, p. 12).

Logo, foram identificados os postos mais próximos e com dados disponíveis nos dias a serem supridas as falhas. Foram identificados cinco postos, conforme tabela 2:

Tabela 2 - Identificação dos postos utilizados na correção das falhas

Código do Posto	Nome do Posto	Município	Curso d'água	Latitude	Longitude	Altitude	Distância para o Posto C4-075
C4-075	Clube de Regatas	Ribeirão Preto	Rio Pardo	21°06'12"	47°45'27"	490 m	---
C4-034	Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	Ribeirão Preto	21°13'00"	47°52'00"	580 m	17,7 km
C4-054	Jardinópolis	Jardinópolis	Rio Pardo	21°01'00"	47°46'00"	580 m	9,5 km
C4-083	Serrana	Serrana	Rio Pardo	21°13'00"	47°36'00"	540 m	20,0 km
C4-086	Fazenda Ponta da Serra	Brodowski	Rio Pardo	21°05'00"	47°39'00"	580 m	10,6 km
C4-104	Cruz das Posses	Sertãozinho	Rio Pardo	21°05'00"	47°54'00"	540 m	15,6 km

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Todos os postos estão localizados na sub-bacia do Ribeirão da Prata/ Ribeirão Tamanduá. O posto mais distante localiza-se em Serrana e está a 20 km do posto principal. A distância média dos cinco postos para o posto em estudo é de 14,7 km.

O posto C4-104 só possui dados até o ano de 2000, não sendo possível, portanto, utilizá-lo para o suprimento das falhas em anos posteriores.

A imagem da figura 28 representa o posto do presente estudo em vermelho. Em amarelo os postos utilizados para suprir as falhas do posto C4-075.



Figura 28: Foto aérea representando a localização do posto pluviométrico estudado e dos postos pluviométricos utilizados para correção das falhas

Fonte: Google Earth, 2019

Logo, os valores foram observados em cinco pontos mais próximos da estação em estudo. Em seguida, por meio de um método estatístico, verificou-se o posto de melhor correlação para, posteriormente, completar a série de dados. Segundo Galvani (2005), para medir o grau de correlação entre elas, determina-se o coeficiente de Pearson. Portanto, este procedimento foi feito para cada um dos 16 dias com falha.

Segundo Vega (2017)

A regressão e a correlação são duas técnicas estreitamente relacionadas que envolvem uma forma de estimação. A análise de correlação dá um número que resume o grau de relacionamento entre duas variáveis e a análise de regressão tem como resultado uma equação matemática que descreve o relacionamento.

O diagrama de dispersão é um método de representar graficamente a relação entre duas variáveis. No diagrama de dispersão, quando se tem como imagem uma reta ascendente, a correlação é linear positiva (VEGA, 2017).

“A determinação da correlação entre duas variáveis por meio de uma inspeção nos pares anotados ou no diagrama de dispersão correspondente é pouco precisa e depende do treinamento e da sensibilidade do observador” (VEGA, 2017).

Uma forma de contornar essa dificuldade é procurar uma medida que caracteriza essa correlação linear. O instrumento empregado para a medida da correlação linear é o coeficiente de correlação (ou r de 'Pearson') proposto por Karl Pearson (VEGA, 2017).

Esse coeficiente, que vai de (-1 a +1), “deve indicar o grau de intensidade da correlação entre duas variáveis e, ainda, o sentido dessa correlação (positiva ou negativa)”. Quanto mais próximo de 1, melhor a correlação (VEGA, 2017).

O método de regressão linear consiste em utilizar regressões lineares simples ou múltiplas para o preenchimento de falhas. Na regressão linear simples, as precipitações do posto com falhas e de um posto vizinho são correlacionadas. Na regressão linear múltipla as informações pluviométricas do posto com falhas são correlacionadas com as correspondentes observações de vários postos vizinhos (BERTONI; TUCCI, 2001).

Portanto, após a construção da tabela no Microsoft Excel, com os dados dos outros cinco postos, dos meses e seus respectivos anos em que o posto em estudo possui sua falha diária, procedemos ao processo de escolha do melhor posto, por meio do Coeficiente de Pearson.

Para isso, no Microsoft Excel utilizamos a fórmula denominada “Pearson”, ou “Correl”, correlacionando os dados do mês do posto com falhas com os dados de cada posto com dados disponíveis.

Sabemos que a primeira falha ocorreu em 15 de janeiro de 1980. Assim, temos, no primeiro caso (tabela 3), na coluna A, os dias do mês. As colunas B até G representam, cada uma, os valores precipitados de cada posto, sendo a coluna D do posto C4-075. Logo, na célula B32 foi inserida a fórmula “=Correl (D2:D32;B2:B32)” e feito isso com todos os postos como “=Correl (D2:D32;C2:C32)”, correlacionando, desta forma, os dados de cada um dos cinco postos com os do posto C4-075. Aquele que obteve resultado mais próximo a 1, foi o que melhor se relacionou com o posto com falha e foi, portanto, o escolhido. O posto C4-034, neste primeiro caso, foi o escolhido, pois obteve valor de Pearson mais próximo a 1 comparado aos outros postos, obtendo Coeficiente de Pearson igual a 0,61.

Tabela 3 – Correção do primeiro dia com falha (15 de janeiro de 1980) “continua”

Jan/1980	C4-034	C4-054	C4-075	C4-083	C4-086	C4-104
1	0,0		8,6	7,4	0,0	
2	0,0		0,0	0,0	0,0	
3	0,0		0,0	0,0	0,0	
4	0,0		0,0	0,0	0,0	
5	0,0		0,0	0,0	0,0	
6	0,0		0,0	0,0	0,0	
7	0,0		0,0	0,0	0,0	
8	33,3		21,3	16,0	10,3	
9	14,5		15,0	6,6	12,1	
10	1,8		0,5	0,2	3,4	
11	0,0		0,1	0,7	0,0	
12	19,6		22,7	27,1	48,9	
13	3,4		20,9	10,6	0,0	
14	6,5		4,1	2,2	0,2	
15	0,0		3,3	0,0	0,0	
16	0,0		0,0	0,0	0,0	
17	0,0		0,0	9,0	0,1	
18	6,5		16,6	10,5	12,2	
19	4,4		10,8	0,0	8,9	
20	4,8		1,7	1,2	2,3	
21	13,0		5,1	6,7	6,0	
22	1,1		0,6	0,5	0,0	
23	4,7		3,1	5,7	2,2	
24	0,4		1,1	11,5	3,1	
25	28,4		37,0	19,3	19,5	
26	6,7		8,9	9,5	4,1	
27	3,0		48,3	34,7	8,1	
28	0,0		0,1	0,0	33,0	

Jan/1980	C4-034	C4-054	C4-075	C4-083	C4-086	C4-104
29	3,9		4,7	16,8	0,5	
30	0,0		0,0	0,2	0,0	
31	0,0		0,0	56,8	0,0	
Coeficiente de Pearson	0,61		-	0,50	0,44	
Total mensal			234,5			

"conclusão"

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Os postos em branco (C4-054 e C4-104), para este dia, não registraram dados e foram descartados. Em destaque nas cores cinza, temos o código do melhor posto relacionado (C4-034), o dia com falha a ser suprida (15-01-1980), o valor em milímetros utilizado para suprir o dia com falha (3,3), o coeficiente de correlação de Pearson mais próximo de 1 (0,61) e o volume de chuva mensal após a correção da falha (234,5 mm). Neste primeiro caso, o posto que melhor se correlacionou com o posto C4-075 foi o posto C4-034, obtendo coeficiente de Pearson igual a 0,61, ou seja, o mais próximo de 1 entre os postos analisados. No dia com falha, no posto C4-034, o valor da pluviometria foi 0,0 mm. Mas isso não significa que a falha foi suprida por este mesmo valor. O valor utilizado para suprir a falha foi 3,3 mm e o gráfico da figura 29 demonstra como chegou-se a este resultado:

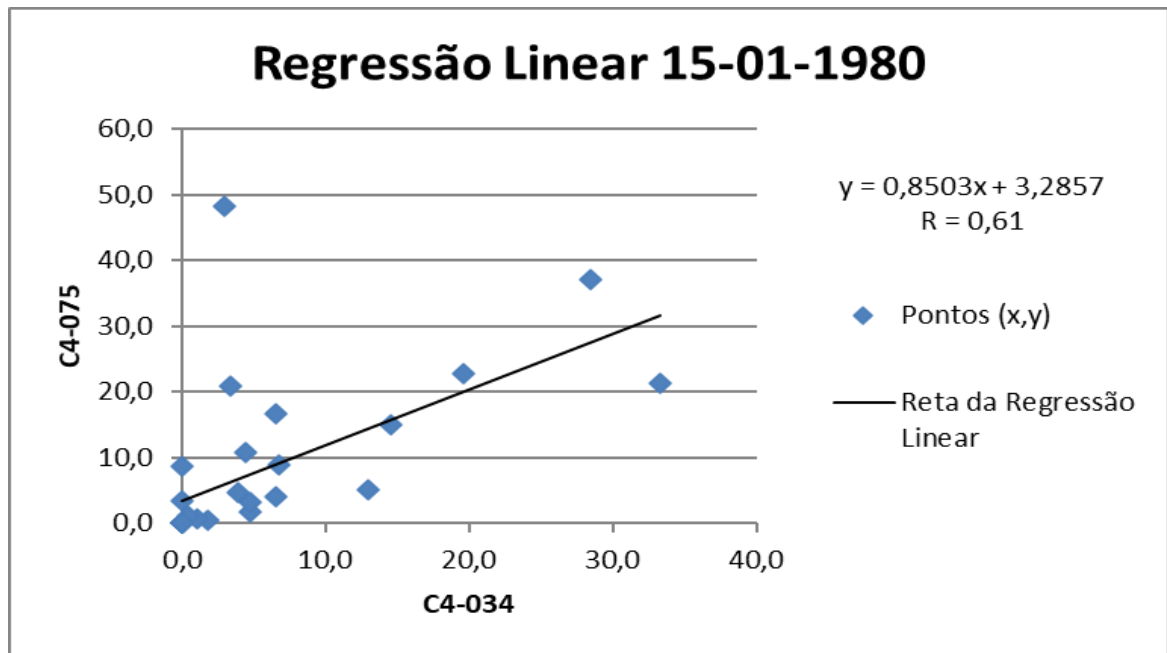


Figura 29: Gráfico de Dispersão representando a Reta de Regressão Linear do primeiro dia com falha.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Após a construção do gráfico de dispersão da figura 28, no Microsoft Excel, utilizando os dados dos dois postos correlacionados, insere-se uma linha de tendência e, ao formatá-la, marcamos a caixinha “Exibir equação no gráfico”. Assim, aparece a equação no formato $y = a x + b$, onde “a” é o Coeficiente Angular e “b” o Coeficiente Linear, “x” é o valor diário do posto que tenho dados (no caso o posto C4-034) e y, o valor que quero encontrar do posto a ser suprida a falha diária (o posto do presente estudo C4-075).

Portanto, no eixo x são colocados os dados do posto C4-034, e, no eixo y, são colocados os dados do posto C4-075. Neste caso, $x = 0,0$, pois no dia 15/01/1980, o posto C4-034 registrou 0,0 milímetros de chuva. Substituindo na equação do gráfico tem-se: $y = 0,8503 * 0,0 + 3,2857$. Logo, $y = 3,2857$ que, arredondando para uma casa após a vírgula, resulta em 3,3 milímetros. Assim, no posto C4-075, no dia 15-01-1980, a falha foi substituída por 3,3 milímetros de chuva. Portanto, o mês de janeiro de 1980 registrou, em 30 dias 231,2 mm, mais 3,3 mm do dia 15, totalizou 234,5 mm de chuva, valor representado na tabela 3 como valor mensal.

Posteriormente este procedimento foi realizado para cada um dos outros 15 dias com falhas, podendo ser verificado no apêndice, e resultou na tabela 4:

Tabela 4 - Coeficiente de Pearson dos 16 dias com falhas

Coeficiente de Pearson						
Dias		C4-034	C4-054	C4-083	C4-086	C4-104
1º	15-01-1980	0,61	---	0,50	0,44	---
2º	07-02-1983	0,79	0,91	0,74	0,88	0,80
3º	27-06-1983	0,69	0,82	0,95	0,93	0,96
4º	29-06-1983	0,69	0,82	0,95	0,93	0,96
5º	31-01-1991	0,67	0,09	---	0,39	0,45
6º	29-02-1992	0,74	---	0,62	0,80	0,83
7º	01-01-2005	0,24	0,70	0,18	0,76	---
8º	26-09-2006	0,52	0,91	0,90	0,99	---
9º	27-09-2006	0,52	0,91	0,90	0,99	---
10º	28-09-2006	0,52	0,91	0,90	0,99	---
11º	29-09-2006	0,52	0,91	0,90	0,99	---
12º	30-09-2006	0,52	0,91	0,90	0,99	---
13º	25-12-2008	---	0,83	0,62	0,31	---
14º	03-10-2010	---	0,902	0,864	0,898	---
15º	24-12-2010	---	0,34	0,61	0,36	---
16º	25-12-2010	---	0,34	0,61	0,36	---

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Em destaque temos os coeficientes de Pearson mais qualificados, ou seja, mais próximos de 1. O mês de setembro de 2006, apesar de ter cinco falhas, obteve o melhor coeficiente de Pearson (0,99) e o total mensal não foi alterado, porque y resultou igual a zero. Assim, os cinco dias com falhas foram substituídos por 0,0 mm cada um. Nota-se que em apenas 4 oportunidades, no 1º, 5º, 15º e 16º dias, o coeficiente de Pearson ficou abaixo do recomendado por Barbosa et al. (2005) e Pruski et al. (2004) com coeficiente de determinação inferior a 0,70.

Mesmo assim, em todos os casos o coeficiente ficou acima de 0,60. Na 14ª falha, utilizou-se três casas após a vírgula apenas para desempate. O tracejado significa que o posto não possui dados.

Após a realização deste procedimento com todas as 16 falhas, temos a tabela 5, que representa quanto correspondeu de aumento diário em milímetros de chuva por dia com falha:

Tabela 5 - Representação do aumento do volume pluviométrico diário após a correção das falhas.

Falhas	Dias	Y(mm) Diário
1	15-01-1980	3,3
2	07-02-1983	23,7
3	27-06-1983	0,3
4	29-06-1983	0,3
5	31-01-1991	20,4
6	29-02-1992	10,5
7	01-01-2005	9,2
8	26-09-2006	0,0
9	27-09-2006	0,0
10	28-09-2006	0,0
11	29-09-2006	0,0
12	30-09-2006	0,0
13	25-12-2008	4,4
14	03-10-2010	0,4
15	24-12-2010	2,8
16	25-12-2010	4,1

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A maior alteração ocorreu em 07/02/1983 com 23,7 mm. O mês de janeiro registrou três falhas diárias, assim como dezembro. O mês de fevereiro duas falhas, junho duas, outubro uma e setembro, cinco. Nos outros seis meses não houve falhas. Deste modo, a tabela 6 nos mostra o quanto aumentou, milimetricamente, os meses com dias com falhas:

Tabela 6 - Representação do aumento do volume pluviométrico mensal após a correção das falhas.

meses	alteração	y (mm)
jan/80	aumentou	3,3
fev/83	aumentou	23,7
jun/83	aumentou	0,6
jan/91	aumentou	20,4
fev/92	aumentou	10,5
jan/05	aumentou	9,2
set/06	não mudou	0,0
dez/08	aumentou	4,4
out/10	aumentou	0,4
dez/10	aumentou	6,9

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Como houve meses do ano que tiveram mais de um dia com falhas diárias, o número de meses com falhas reduz a dez, de todos os 720 meses da série histórica, o que equivale a 1,388% de falhas.

Este procedimento é uma forma de não desperdiçarmos todos os outros dias do mês com registro de precipitação, por causa de apenas um ou outro dia sem o registro, além de evitarmos o uso da média mensal para suprir todo o mês, que considera o mês todo como falha. Acredita-se, portanto, que este método seja, embora mais trabalhoso, mais eficiente, registrando uma pluviometria mais próxima da realidade, do que aquele onde se utiliza as médias mensais para suprir o mês com falhas. No entanto, não é muito viável quando se tem muitos postos pluviométricos com muitas falhas a serem supridas. Portanto, depende muito do objetivo do trabalho e também da qualidade dos postos.

Já com todas as falhas supridas, a tabela 7 representa como ficou a tabela base da série histórica do posto C4-075, com dados da série temporal de 60 anos, utilizada para construção dos gráficos no Microsoft Excel, também chamados de histogramas e pluviogramas, para melhor visualizar e analisar o comportamento da precipitação. Em destaque estão representados os meses com suas falhas já supridas.

Tabela 7: Tabela base representando a série histórica do posto C4-075 após a correção das falhas.
 “continua”.

mm	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1951	369,4	202,7	115,7	35,3	16,1	7,6	0,0	11,5	0,0	58,6	147,7	162,8
1952	172,6	342,0	306,8	21,2	0,0	53,8	0,0	3,0	15,8	133,8	150,3	120,6
1953	179,2	72,8	118,6	38,3	25,4	46,2	30,4	0,0	74,9	53,2	105,0	261,4
1954	146,9	167,8	141,1	9,8	128,1	45,3	0,0	0,0	18,9	59,3	129,3	164,2
1955	250,0	100,1	200,4	99,8	9,3	20,0	0,0	5,1	0,0	99,3	82,1	309,3
1956	131,6	147,0	48,7	75,9	80,7	69,2	49,1	62,2	45,9	244,4	26,0	303,3
1957	233,8	254,2	186,9	124,1	84,0	19,5	87,3	65,6	143,2	128,8	191,6	192,5
1958	191,8	163,9	115,5	91,7	133,3	29,4	32,0	14,1	110,4	169,8	33,5	185,1
1959	434,0	114,8	214,7	51,0	24,5	9,0	0,0	37,6	12,6	97,6	166,1	172,0
1960	272,7	330,7	92,7	82,8	23,4	75,6	0,0	13,7	0,0	69,3	275,4	383,0
1961	274,1	279,2	160,5	145,6	63,1	5,8	0,0	4,5	0,0	55,6	161,3	230,2
1962	173,0	142,2	244,8	6,5	32,3	78,8	6,2	21,3	62,4	179,4	110,3	525,0
1963	310,2	86,9	36,7	46,1	23,2	0,0	0,0	3,8	4,3	39,8	151,4	106,7
1964	394,5	186,0	106,8	92,0	165,6	38,5	45,0	0,0	67,3	154,6	174,7	373,4
1965	291,8	256,1	243,2	48,6	37,9	33,2	68,7	4,8	52,5	117,0	145,4	233,4
1966	286,2	264,4	300,3	106,7	60,7	0,3	0,9	12,2	34,7	84,7	241,5	258,5
1967	239,8	167,0	182,5	87,8	2,0	69,0	3,4	0,0	133,6	138,8	345,6	402,0
1968	158,5	75,7	128,0	47,7	44,8	0,8	7,2	58,5	16,7	144,3	101,8	231,3
1969	137,3	125,9	133,0	26,6	6,3	23,5	4,7	3,8	43,4	142,0	151,9	231,3
1970	274,6	304,4	100,5	11,5	34,8	66,2	30,2	38,7	130,6	178,3	167,3	105,4
1971	90,6	108,5	229,9	55,8	30,9	110,2	32,9	0,6	48,4	207,1	154,4	318,3
1972	236,8	387,6	131,3	72,8	78,5	0,4	130,5	73,9	55,3	217,8	203,4	141,0
1973	239,0	145,0	162,9	201,3	45,9	17,9	24,2	3,1	76,0	191,6	209,6	452,0
1974	377,3	110,2	384,6	67,5	10,7	71,2	0,0	0,8	25,3	101,2	189,8	461,8
1975	237,3	284,4	36,7	109,3	2,3	3,1	19,3	0,0	77,9	99,0	336,2	194,8
1976	119,2	371,6	200,3	128,5	102,6	27,4	81,6	108,6	213,6	138,6	198,1	303,2
1977	194,8	74,9	72,4	204,6	8,5	42,1	3,0	30,3	85,9	112,7	190,6	241,6
1978	229,0	95,8	109,8	17,2	131,1	21,3	66,6	0,0	40,0	124,8	352,4	292,8

mm	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1979	244,0	250,3	82,5	77,9	66,3	0,1	34,5	33,9	188,2	111,8	97,3	312,1
1980	234,5	533,3	127,5	154,9	14,7	97,9	0,0	8,0	129,0	50,9	381,5	345,1
1981	344,9	136,6	151,9	41,9	7,9	59,8	0,0	2,5	19,1	320,4	302,0	261,0
1982	496,5	141,8	298,0	30,0	63,4	28,4	34,8	39,7	34,1	299,0	105,1	401,9
1983	230,1	533,4	221,0	140,0	264,2	60,0	53,7	0,3	215,5	220,8	134,1	458,3
1984	139,9	63,1	65,2	158,6	40,3	0,5	9,0	69,4	101,4	38,2	247,2	244,4
1985	407,8	102,3	348,9	65,5	12,3	1,7	0,9	0,3	18,3	74,8	169,3	242,0
1986	254,3	202,1	231,4	27,5	107,0	0,3	50,1	96,0	3,9	92,0	88,7	489,5
1987	290,7	219,7	122,0	54,0	99,3	11,2	13,2	5,5	91,7	97,5	218,2	95,1
1988	194,1	378,1	119,6	218,8	64,4	16,9	0,0	0,0	4,7	244,9	67,5	236,8
1989	255,1	337,4	185,1	70,8	34,3	36,7	46,0	20,8	87,6	96,0	180,8	257,9
1990	207,4	191,4	203,0	52,5	72,9	0,7	12,0	106,5	18,3	99,9	81,9	135,4
1991	518,2	193,0	317,7	160,2	8,3	0,0	8,4	0,0	39,2	122,2	93,8	316,1
1992	191,7	181,3	226,4	80,0	51,8	0,0	22,7	9,9	153,8	191,1	235,6	108,1
1993	121,2	522,5	84,7	71,2	48,2	55,6	0,6	31,6	97,1	64,3	78,9	258,5
1994	327,2	138,3	162,9	47,3	54,7	15,7	14,4	0,0	0,0	100,9	124,5	312,7
1995	321,1	384,6	146,7	94,5	59,7	7,5	30,6	0,6	50,7	154,3	68,1	300,1
1996	274,2	177,2	152,0	35,7	80,5	25,8	0,5	16,2	92,3	154,5	190,2	249,0
1997	405,2	181,6	69,0	100,4	104,1	170,3	4,8	0,0	17,6	110,7	284,9	128,8
1998	250,4	281,7	221,4	106,8	58,3	2,0	0,0	16,0	10,8	239,8	142,2	366,5
1999	315,1	276,7	111,5	39,7	20,8	31,7	5,2	0,0	70,4	24,3	130,4	202,8
2000	316,0	480,6	414,7	2,7	0,0	0,0	40,3	41,4	106,5	65,6	140,4	200,6
2001	136,0	94,4	126,2	36,5	86,3	3,6	10,8	15,6	63,4	152,1	167,5	300,9
2002	379,3	217,3	141,0	1,7	42,2	0,0	1,9	11,8	107,7	64,4	215,8	254,4
2003	584,6	155,4	137,7	60,6	47,6	3,6	13,7	1,5	13,4	40,1	104,0	170,5
2004	217,3	426,1	134,1	134,5	113,2	43,7	24,2	0,0	8,5	167,6	246,7	394,4
2005	432,0	116,6	145,5	105,0	157,4	35,8	42,5	0,0	99,1	103,8	221,7	196,1
2006	240,2	307,4	210,6	55,2	1,6	2,7	3,3	8,2	38,9	249,5	219,0	294,6
2007	475,1	191,3	150,3	59,6	89,7	0,0	85,8	0,0	0,0	40,0	154,6	94,1

mm	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2008	489,3	141,9	171,2	147,5	48,8	0,5	0,0	8,8	2,6	26,7	138,1	382,7
2009	237,0	280,4	121,1	62,7	40,6	27,9	32,3	99,0	131,2	136,7	90,6	397,1
2010	211,6	89,1	93,9	18,7	9,2	10,5	25,5	0,0	105,0	107,6	286,8	286,6

“conclusão”

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

7. Resultados e discussão

Assim, visando atingir o objetivo de saber se a precipitação no local aumentou ou diminuiu, foram feitas análises nas escalas temporais anual, mensal, sazonal e semestral, comparando-se as médias do primeiro com a do segundo período, além de uma análise em escala decadal.

7.1 Análise da variabilidade pluviométrica em escala anual

Analisando o gráfico da figura 30, notamos que o comportamento da precipitação acontece de forma variável ao longo da série histórica. A variação acontece anualmente, com um ano mais chuvoso, outro seco e assim sucessivamente. Portanto, não há ocorrência de longos períodos chuvosos ou longos períodos secos, variando a precipitação sempre em torno da média. Entretanto, há algumas exceções e, logo no começo da série percebemos que ocorre o maior período de estiagem de toda a série, com uma sequência de seis anos com pluviometria abaixo da média, de 1951 a 1956.

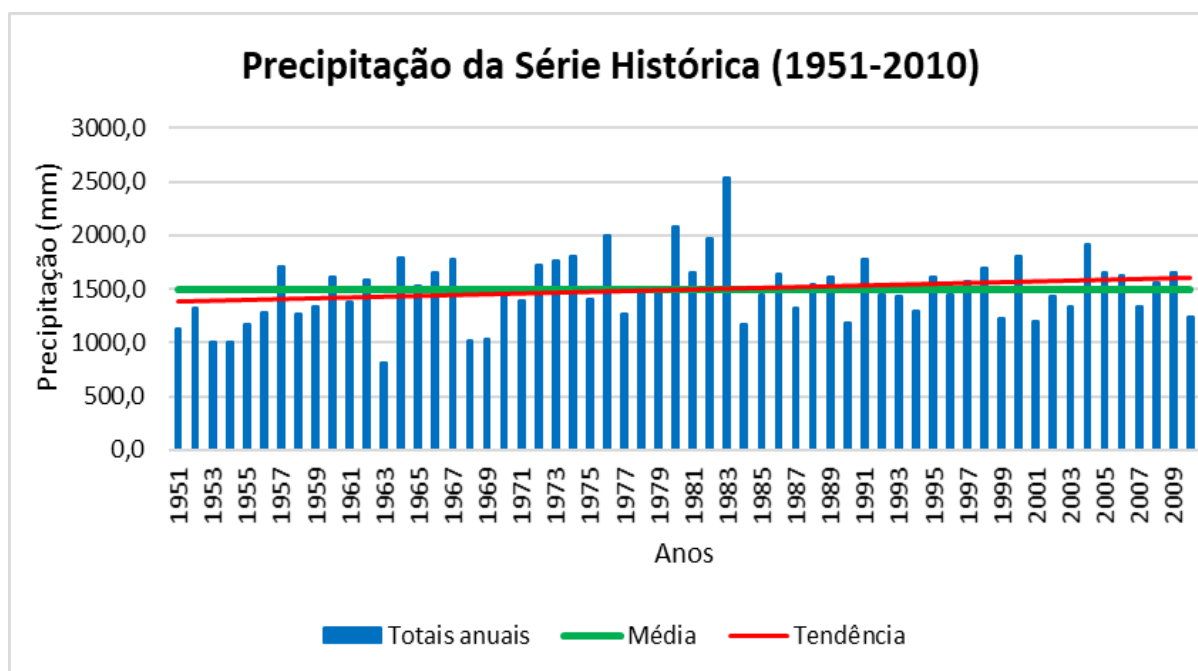


Figura 30: Pluviograma dos totais anuais da série histórica (1951-2010)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Este período de estiagem se recupera em 1957, e a pluviometria se mantém próxima à média até 1962 quando, em 1963, surge o ano mais seco de toda a série, com apenas 809,1 mm. De 1964 a 1967, temos o primeiro período com chuvas um pouco acima da média. Em seguida, os anos de 1968 e 1969, a precipitação ficou em torno de apenas 1000 mm cada.

A partir de 1970 podemos falar numa ascensão no volume de precipitação, com certa variabilidade ano a ano, mas que atinge o ápice em 1983. Devido ao El Niño mais forte e intenso de toda a série, o ano de 1983 apresenta anomalia climática, apresentando a maior precipitação, com 2531,4 mm. No ano seguinte, 1984, temos queda brusca no volume de precipitação, registrando este ano apenas 1177,2 mm. Após este período, a precipitação variou muito próxima à média, com anos oscilando ora um pouco acima, ora um pouco abaixo desta.

Percebe-se ainda que, de 1970 a 2018, com exceção dos anos de 1984, 1990 e 2001, a precipitação sempre esteve acima dos 1200 mm.

A média da série registrou 1494,0 mm por ano e a linha de tendência se mostrou levemente positiva.

Quando dividimos a série em dois períodos, notamos tendência positiva um pouco mais acentuada no primeiro período, com dados de 1951 a 1980. A média pluviométrica anual registrou 1442,3 mm, conforme figura 31.

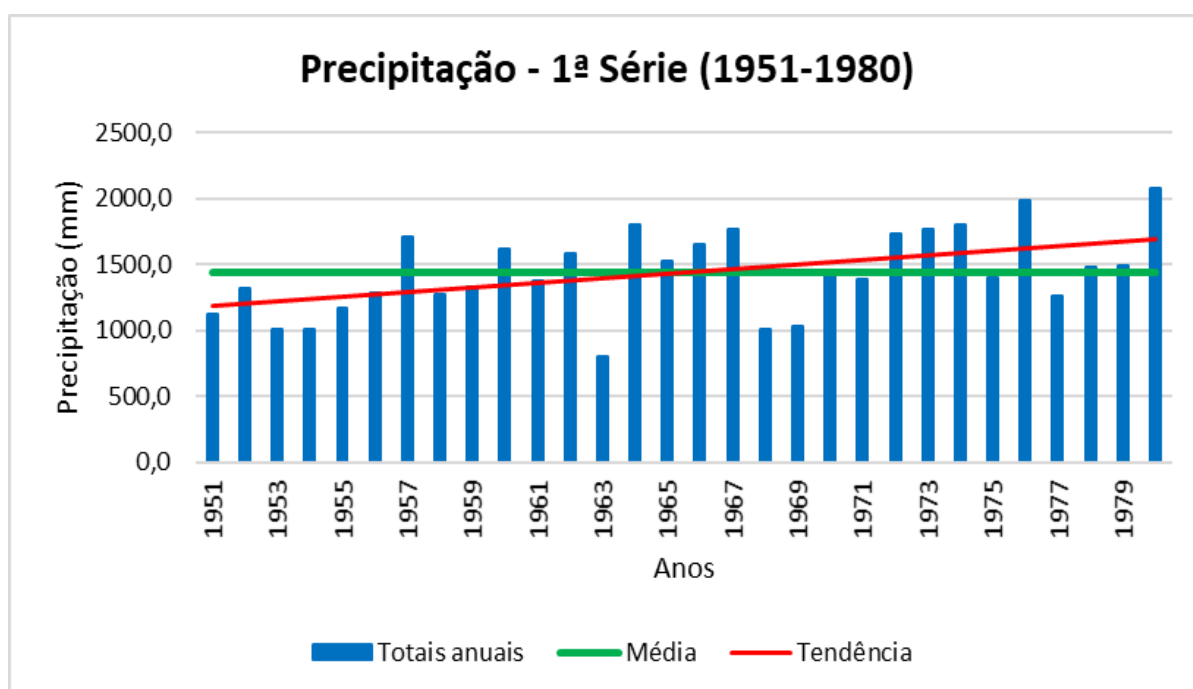


Figura 31: Pluviograma dos totais anuais da primeira série (1951-1980)
 Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Já o segundo período (figura 32), com dados de 1981 a 2010, apresentou tendência levemente negativa, porém, sua média ficou maior do que a do primeiro período, registrando 1545,7 mm anuais.

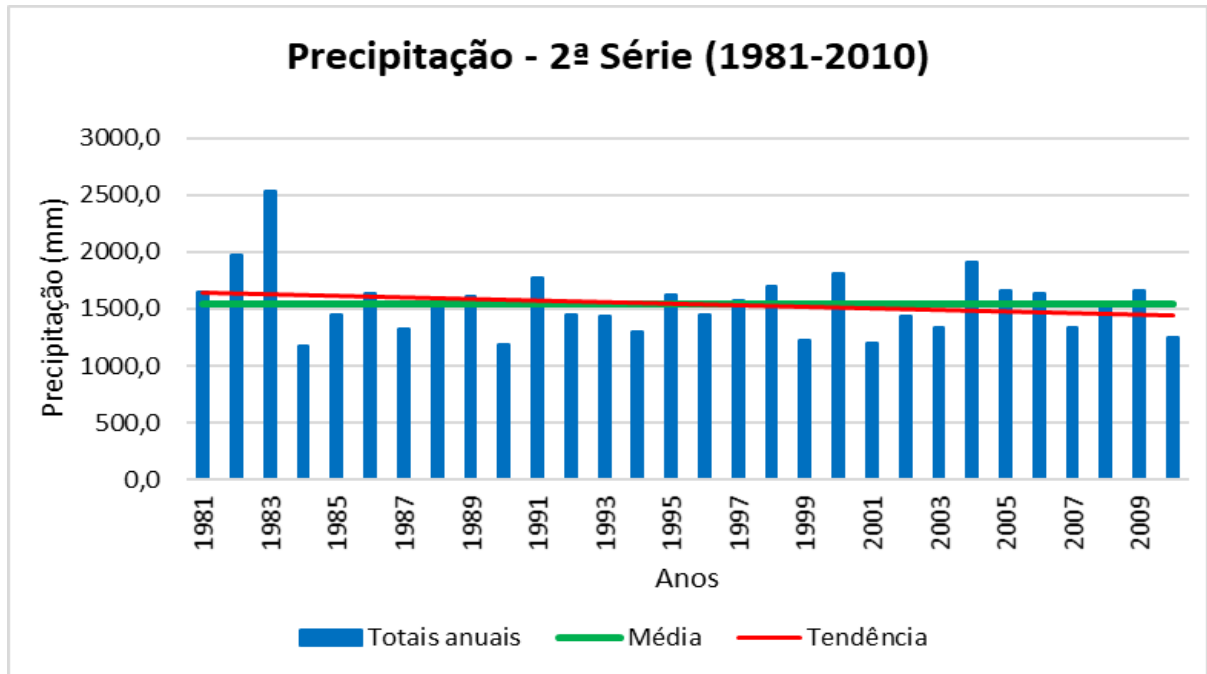


Figura 32: Pluviograma dos totais anuais da segunda série (1981-2010)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Portanto, a média pluviométrica anual do segundo período de trinta anos aumentou em 103,4 mm, em relação ao primeiro período, o que equivale a 7,2 %, podendo ser visto no gráfico da figura 33:

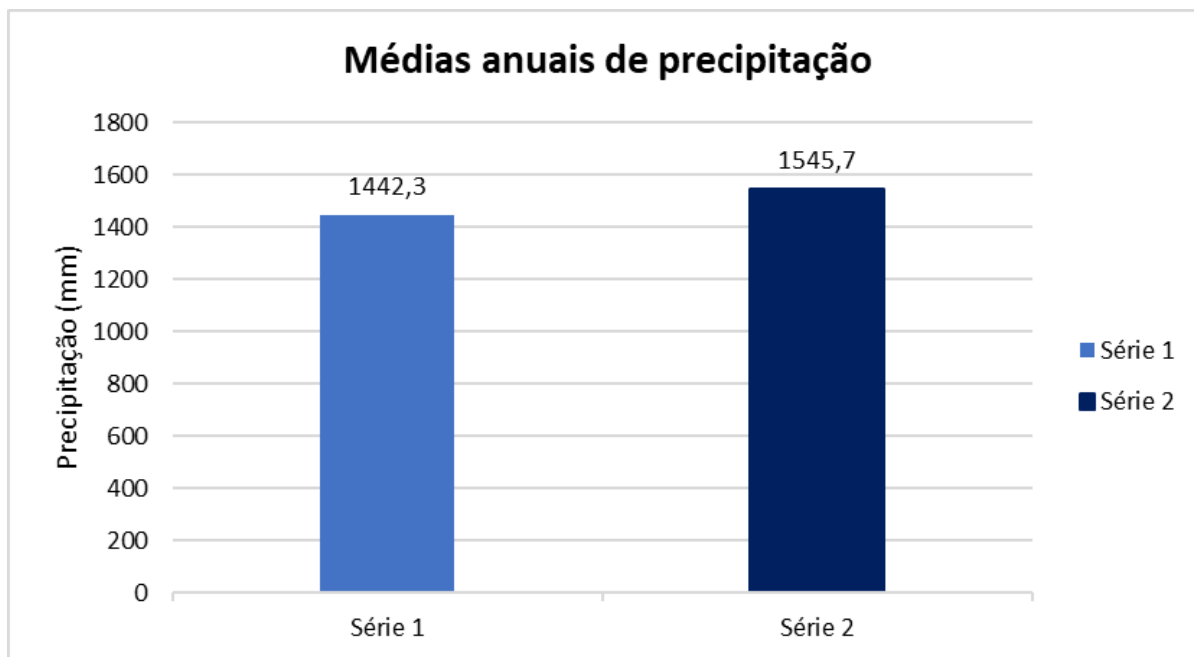


Figura 33: Comparação das médias anuais pluviométricas dos dois períodos de 30 anos.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

7.2 Análise da variabilidade pluviométrica em escala decadal

O gráfico da figura 34 nos mostra como a pluviometria variou na escala decadal, informando a média anual de cada década. Para o cálculo, somou-se os totais anuais de cada década e dividiu-se o resultado por dez, o que equivale a somar as médias anuais de cada década. Por exemplo, na primeira década, a década de 50, somou-se os totais anuais dos anos de 1951 a 1960, resultando em 12.858 mm. A seguir, este resultado foi dividido por dez, obtendo, assim, a média anual da década. Ou, calculamos a média do ano de 1951, 1952.... até 1960, e depois somamos os dez resultados. Assim, percebemos que, da década de 50 até a década de 70, há aumento gradativo na pluviometria, atingindo o ápice com média pluviométrica de 1639,8 mm anuais na década de 70. A partir desta década, temos diminuição gradativa na média pluviométrica anual a cada década e, na última década, que compreende os anos de 2001 a 2010, a média pluviométrica registrou 1496,0 mm anuais.

Ou seja, se, pela análise comparativa das médias dos dois períodos de trinta anos cada houve aumento da média pluviométrica, pela análise decadal, notamos que a precipitação média anual vem diminuindo a cada década. Entretanto, é necessário destacar que a média pluviométrica da última década (1496 mm) ainda ficou acima da média de toda a série histórica (1494 mm).

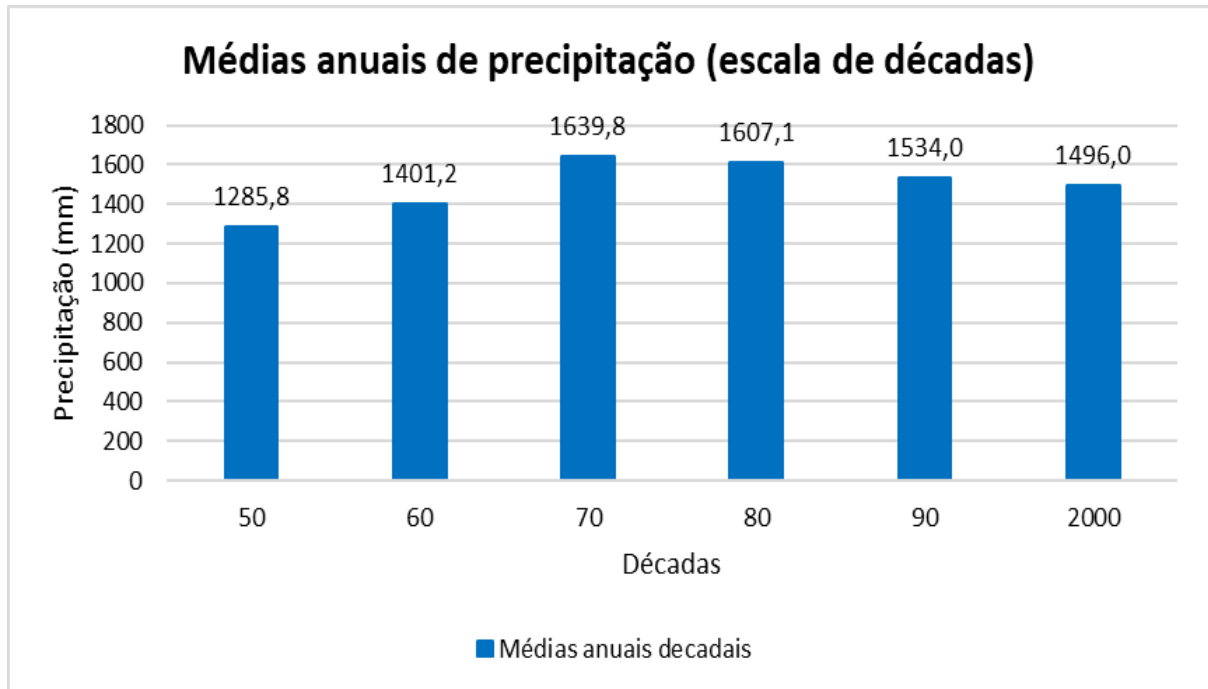


Figura 34: Médias anuais de precipitação (escala de décadas)
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

7.3 Análise da variabilidade pluviométrica em escala mensal

O gráfico da figura 35 representa as médias mensais da série histórica de sessenta anos. É típico de região com clima tropical, com um período seco e outro chuvoso. São seis meses com precipitação acima e seis meses com precipitação abaixo da média. Os meses chuvosos vão de outubro a março. O mês mais chuvoso é janeiro, com média de 273,1 mm e o mês mais seco é agosto, com 20,4 mm ao ano.

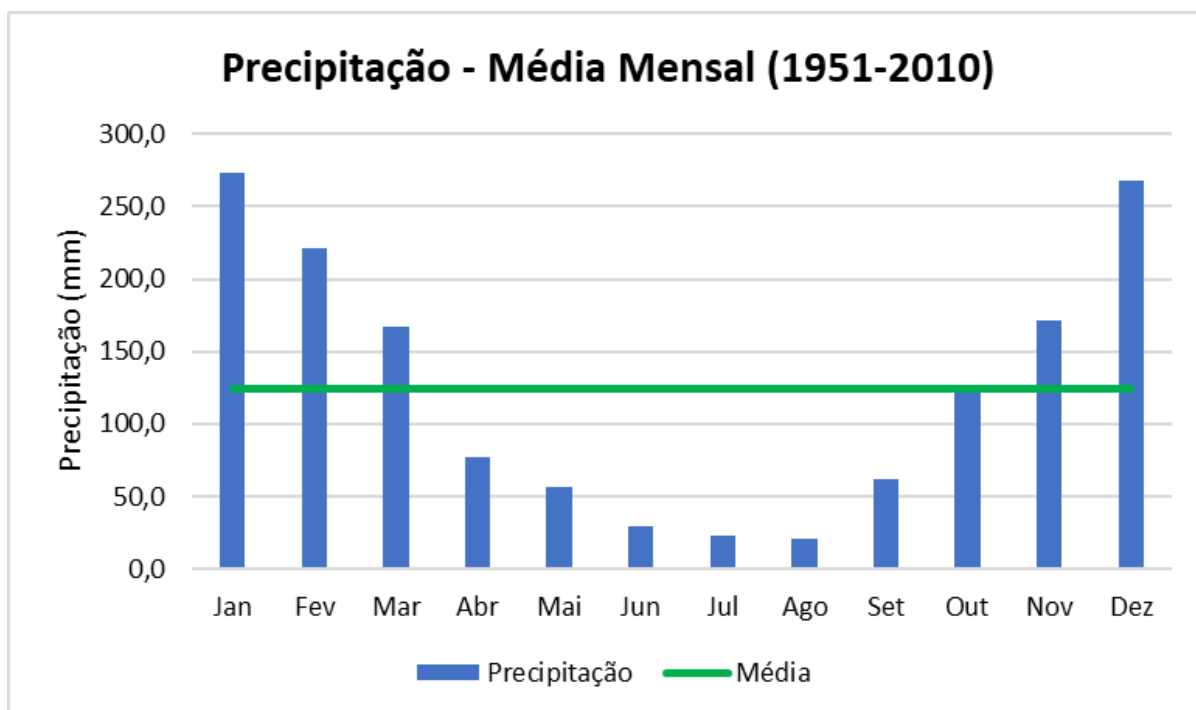


Figura 35: Histograma da média mensal (1951-2010).
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Na comparação entre os dois períodos de trinta anos (figura 36), é notável o aumento de precipitação nos três primeiros meses do ano, principalmente janeiro, que teve aumento de 30% na média do volume precipitado.

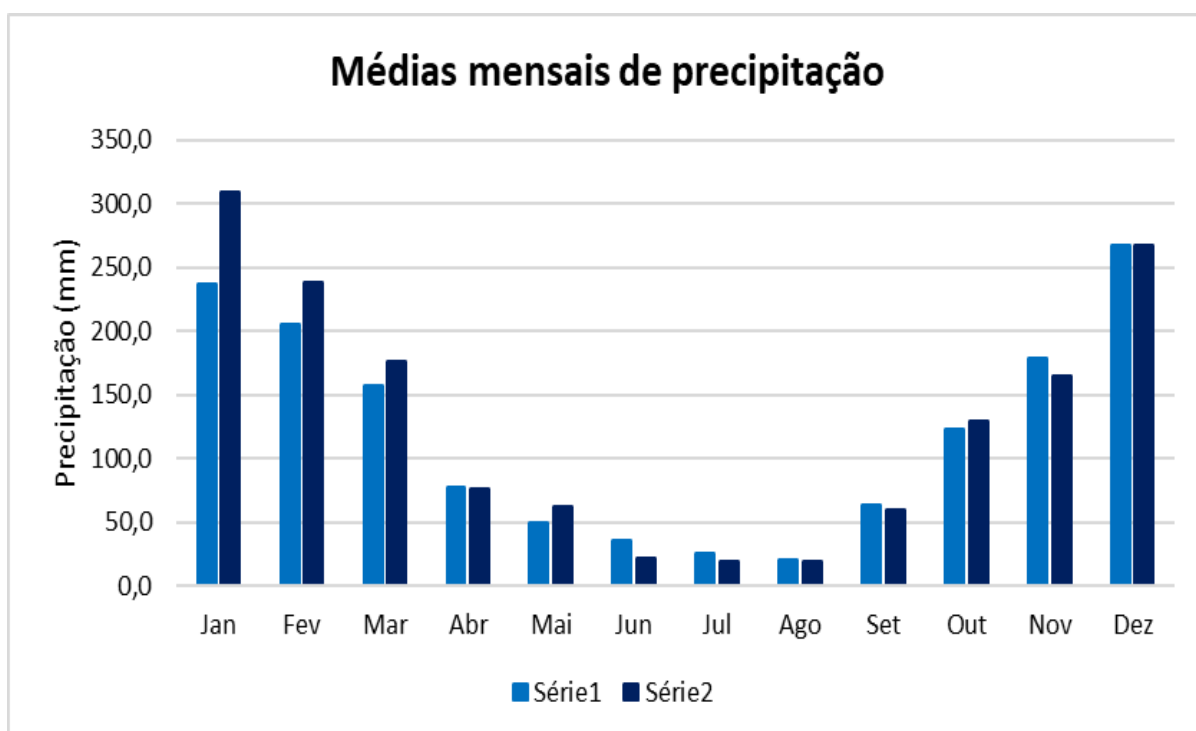


Figura 36: Histograma comparativo entre as médias mensais dos dois períodos
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Maio também teve aumento considerável de 27%, além de fevereiro, com 16,2%, março, com 12,1% e outubro, com 5,3% de aumento na média pluviométrica. Os outros meses apresentaram variação negativa em suas médias pluviométricas, com exceção de dezembro que, com apenas 0,3% de aumento em sua média, o consideramos em estabilidade. Os meses de junho e julho, se destacaram por apresentarem as maiores variações negativas na média do volume precipitado na região. Junho apresentou diminuição de quase 40% e julho, 22,5%. O mês que apresentou a terceira maior diminuição em sua média pluviométrica foi novembro, com 8,2%. Na tabela 8 podemos ver esta variação em porcentagem:

Tabela 8 - Variação Percentual das Médias Mensais

mm	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	média
série													
1	237,5	204,8	157,2	78,0	49,6	36,1	25,3	20,7	63,6	123,5	179,1	267,1	1442,3
série													
2	308,8	238,1	176,2	76,0	63,0	21,8	19,6	20,1	60,1	130,0	164,3	267,9	1545,7
%	30,0	16,2	12,1	-2,5	27,0	-39,7	-22,5	-2,9	-5,5	5,3	-8,2	0,3	7,2

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Pela tabela 8, também podemos verificar que, ao compararmos os dois períodos, no mês de maio, no primeiro período, choveu menos que no mês de setembro, mas, no segundo período, no mês de maio choveu mais que no mês de setembro. O mesmo acontece com o mês de março que, no primeiro período choveu menos que no mês de novembro, mas no segundo período, isso se inverteu. Por sua vez, o mês de janeiro ficou mais chuvoso que dezembro. Ou seja, a chuva passou a se concentrar mais no primeiro semestre do ano. Podemos dizer também que o mês de julho, com 19,6 mm, passou a chover menos que em agosto, com 20,1 mm.

7.4 Análise da variabilidade pluviométrica em escala sazonal

Para a análise sazonal seguiu-se o padrão recomendado pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG-

USP), ou seja, o verão abrange os meses de dezembro a fevereiro, o outono, os meses de março a maio e assim por diante.

Portanto, o procedimento foi somar as médias dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro para o verão, e assim sucessivamente.

O gráfico da figura 37 nos informa como é a distribuição da precipitação pluviométrica pelas quatro estações do ano, na área de estudo, em porcentagem. Praticamente 50% das chuvas concentram-se no verão. A outra metade se divide entre as outras três estações, com aproximadamente 25% da precipitação ocorrendo na primavera, 20% no outono e 5% no inverno.

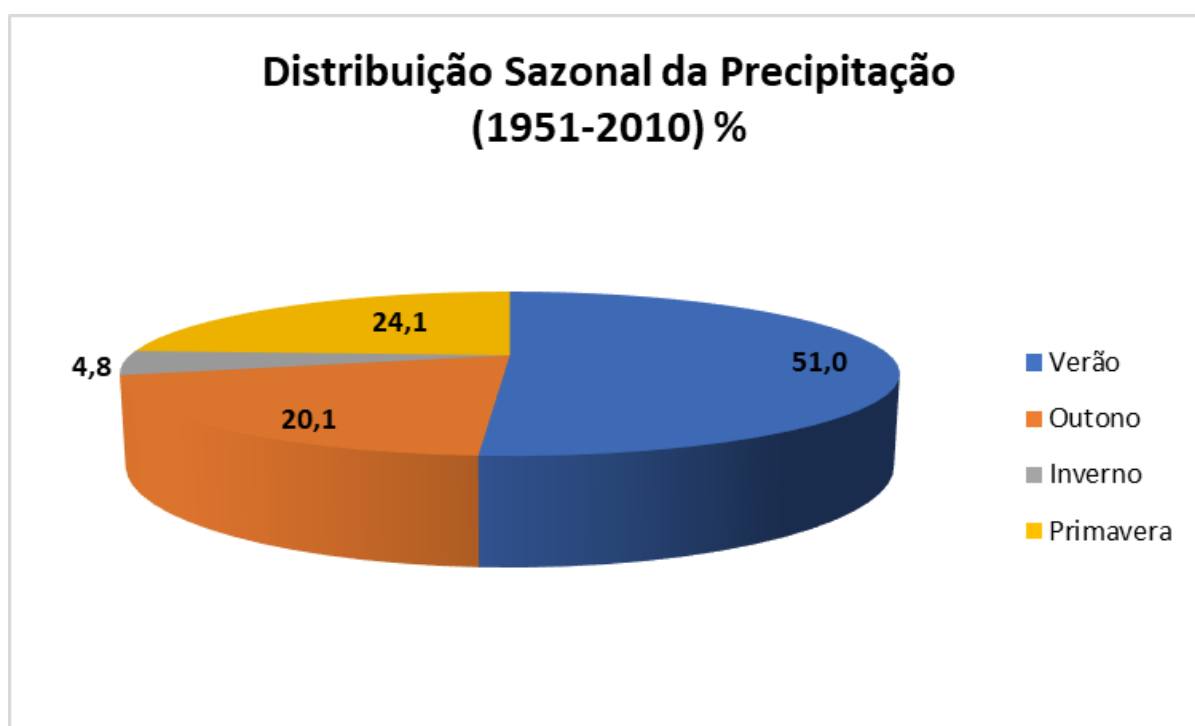


Figura 37: Percentual da distribuição sazonal da precipitação pluviométrica (1951-2010)
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Na comparação sazonal entre os dois períodos de trinta anos, há aumento nas médias pluviométricas de verão e outono e diminuição no inverno e na primavera. Isto se deve, no verão, principalmente aos meses de janeiro e fevereiro, no outono, aos meses de março e maio que, conforme vimos na análise mensal, ficaram mais chuvosos. Por outro lado, os três meses de inverno tiveram diminuição em suas médias pluviométricas, principalmente junho e julho e, na primavera, esta queda se deve aos meses de setembro e novembro. Podemos dizer que o inverno ficou ainda mais seco e o verão, ainda mais chuvoso, conforme o gráfico da figura 38:

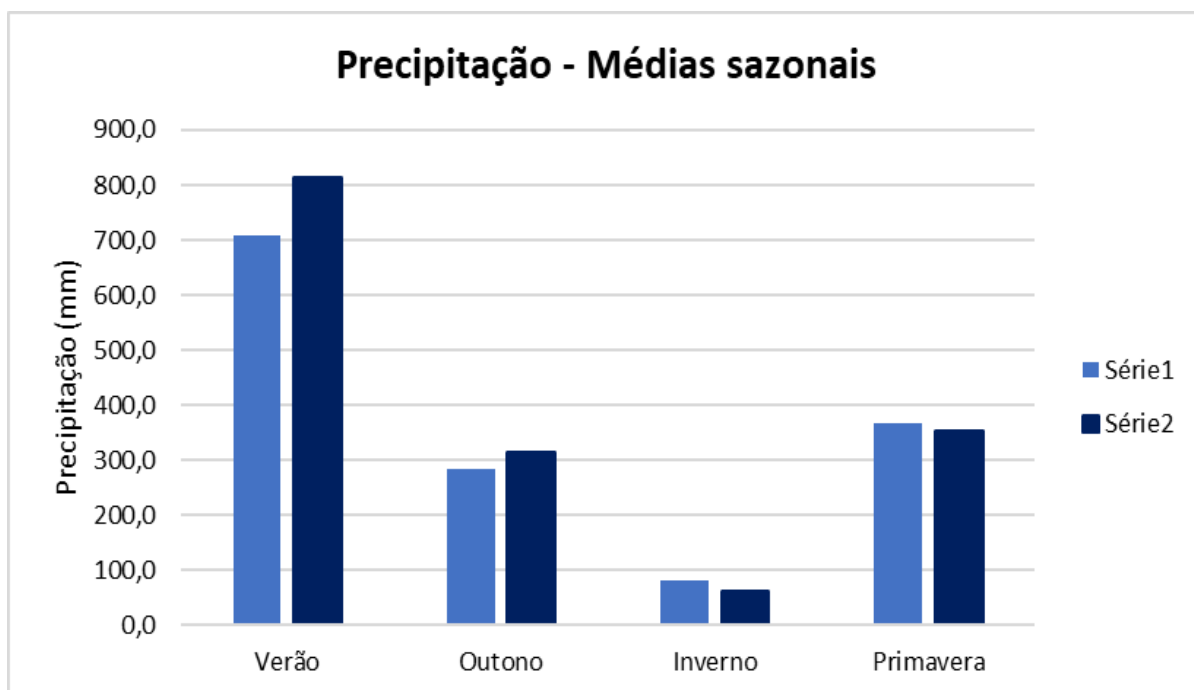


Figura 38: Comparação das médias sazonais de precipitação
 Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Abaixo, a tabela 9 nos mostra esta variação percentual. O inverno sofreu queda em sua média pluviométrica de aproximadamente 25%, enquanto o verão ficou mais chuvoso em aproximadamente 15%.

Tabela 9 - Variação Percentual das Médias Sazonais

mm	Verão	Outono	Inverno	Primavera
série total	762,1	299,9	71,7	360,2
série 1	709,5	284,7	82,0	366,1
série 2	814,8	315,1	61,4	354,4
%	14,8	10,7	-25,1	-3,2

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Os resultados alcançados podem ser significativos para a recarga, já que, segundo (CUNHA, 2003, p. 47 e 48), “os meses de janeiro, fevereiro e dezembro são decisivos para o processo de recarga direta do aquífero, representando aproximadamente 90% do total de infiltração coletada no período”.

7.5 Análise da variabilidade pluviométrica em escala semestral

A área de estudo se divide em seis meses mais chuvosos e seis meses menos chuvosos, o que nos permite realizar, também, uma análise da precipitação na escala semestral. O semestre menos chuvoso é composto pelos meses de abril a setembro. Conforme figura 39, o semestre mais chuvoso concentra 82,1% de toda a precipitação, sobrando para o semestre menos chuvoso apenas 17,9%.

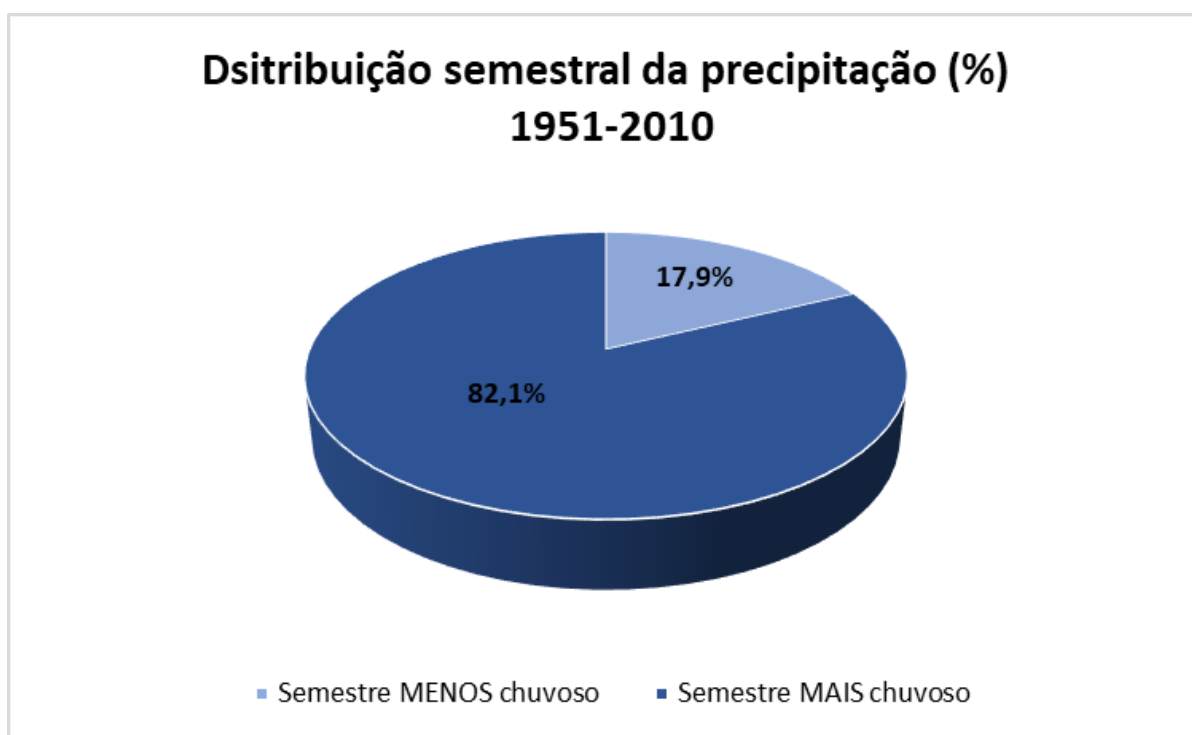


Figura 39: Distribuição semestral da precipitação pluviométrica (1951-2010)
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Na comparação entre os dois períodos de 30 anos cada (figura 40), o semestre mais chuvoso teve aumento em sua média pluviométrica anual de 116 mm, o que representa um aumento de 9,9 %.

Estes dados podem ser importantes para o aquífero, já que, a recarga acontece somente neste período, conforme (CUNHA, 2003, P. 44)

Observa-se que o processo de recarga do aquífero pode ocorrer somente no período chuvoso [...]. Nesse período, os excedentes de precipitação são relevantes e percolam a zona não-saturada do solo [...]. No período de seca [...], o processo hidrológico é controlado pelo fenômeno de evapotranspiração. A precipitação no período é insuficiente para manter o solo úmido e permitir a percolação de água até a rede de drenagem [...].

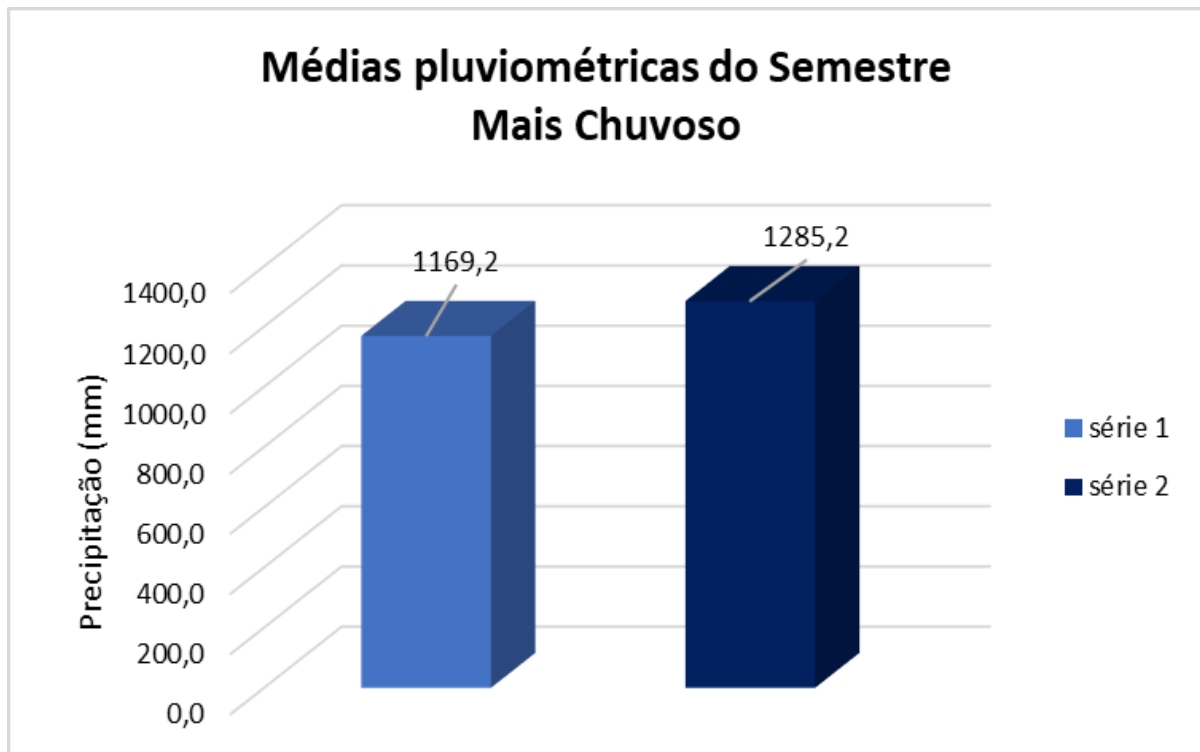


Figura 40: Comparação das Médias pluviométricas do Semestre Mais Chuvoso
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Já o semestre menos chuvoso (figura 41) ficou ainda mais seco em 12,6 mm, o que representa uma diminuição de 4,6%.

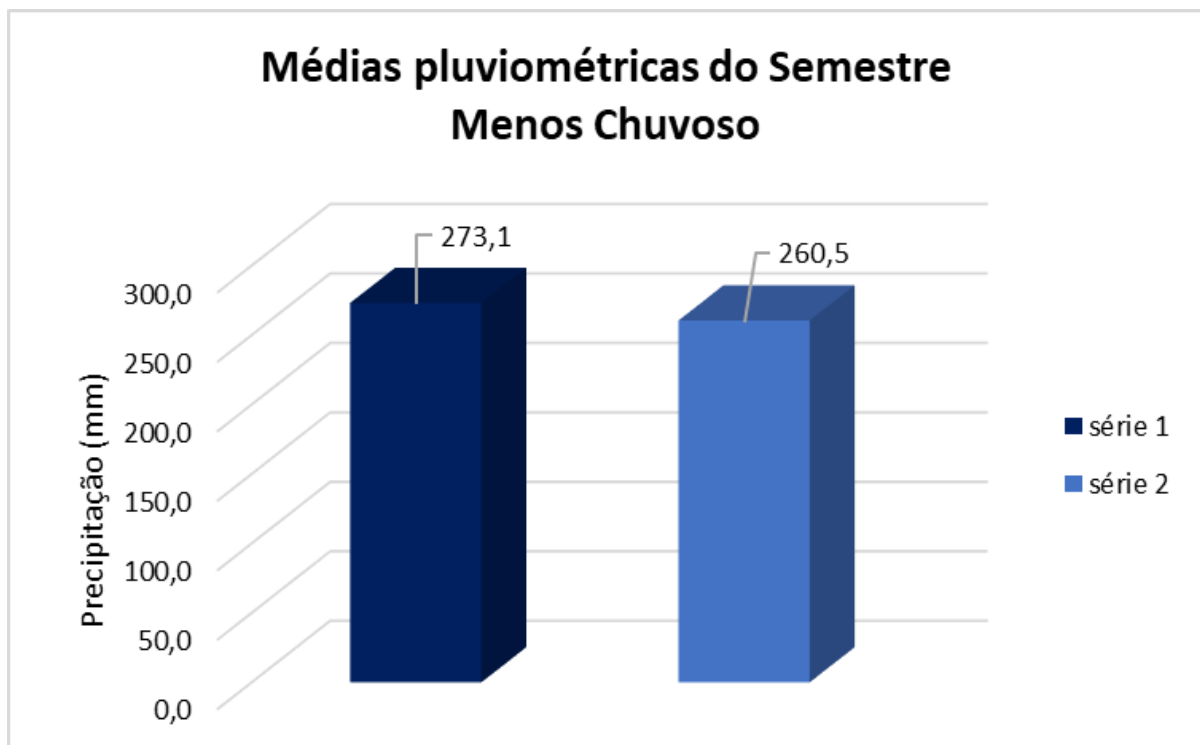


Figura 41: Comparação das Médias pluviométricas do Semestre Menos Chuvoso
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

7.6 Estimando a recarga

Sabemos que a recarga nesta área de afloramento do SAG está diretamente relacionada com a precipitação. Para efetuarmos seu cálculo, baseamos no estudo realizado pela (FIPAI, 1996), que estimou, para a região de Ribeirão Preto (zona de afloramento do Aquífero Guarani), média pluviométrica anual de 1469 mm, uma taxa de infiltração de 20,3% da precipitação (298,2 mm/a) e uma taxa de recarga de 4,7% da precipitação (69,0 mm/a). Esses valores foram estimados através do balanço hídrico realizado com base em dados hidroclimatológicos de 1985 a 1994. A evapotranspiração foi estimada pelo método de Thornthwaite.

Utilizando os dados do “nosso” pluviômetro, para o mesmo período estudado pela FIPAI, a média pluviométrica anual registrou 1470,4 mm, e, aplicando a mesma taxa de recarga (4,7%), a recarga registrou em 69,1 mm/a, muito semelhante portanto. Entretanto, nosso trabalho estendeu esta série de dez para sessenta anos, abrangendo dados desde janeiro de 1951 até dezembro de 2010. Com isso, a média pluviométrica, em sessenta anos, registrou 1494,0 mm por ano e recarga de 70,2 mm/a.

A figura 42 representa a comparação entre a precipitação média anual (1494,0 mm) da série histórica de sessenta anos e a recarga, que corresponde a 4,7% da precipitação (70,2 mm).

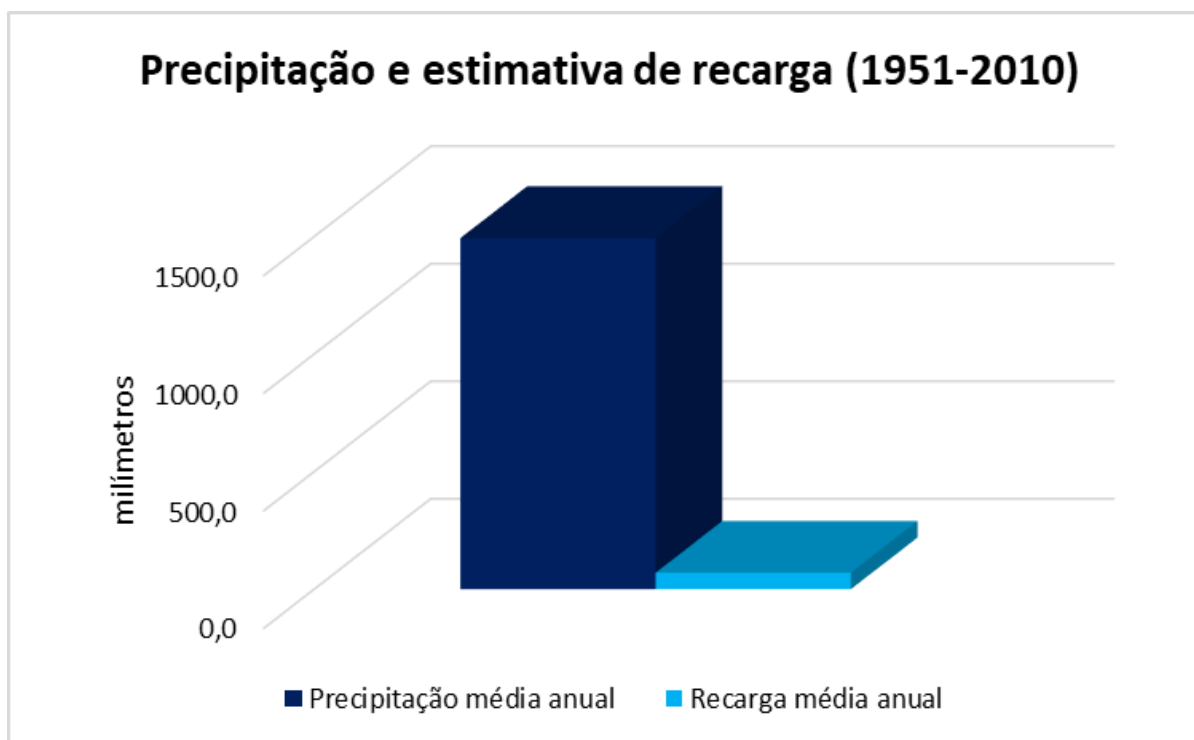


Figura 42: Precipitação e estimativa de recarga (1951-2010)

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

A FIPAI estimou, para o município de Ribeirão Preto, recarga de 7.168.127 litros. O município possui território de 650.916 m² (IBGE, 2021), mas a área aflorada do SAG se faz presente em 21% deste território (VILLAR; RIBEIRO, 2009), o que equivale a aproximadamente 136.692 m². No entanto, quando fazemos a divisão de 7.168.127 por 136.692, o resultado é uma recarga de 52,4 mm, quando deveria ser de 69,0 mm, segundo estudos da própria FIPAI. Isso acontece porque, dos 136.692 m² da área aflorada do SAG no município de Ribeirão Preto, uma parte do território está impermeabilizada devido a urbanização.

Portanto, quando fazemos a divisão de 7.168.127 por 69, temos um resultado de 103.886 m². Esta é a área efetiva onde ocorre a recarga do SAG no município de Ribeirão Preto, considerada pela FIPAI. Isto significa dizer que aproximadamente 24% de toda a área aflorada do município, encontra-se impermeabilizada.

Como o presente estudo concluiu recarga de 70,2 mm, multiplicado por 103.886 m² gera uma recarga de 7.292.797 litros por ano. Mais uma vez, o resultado foi semelhante ao apresentado pela FIPAI (7.168.127).

Ao comparar os dois períodos de trinta anos cada, o primeiro registrou média pluviométrica anual de 1442,3 mm e, 4,7% disso resulta numa recarga de 67,8 mm. O segundo período registrou média pluviométrica de 1545,7 mm e, 4,7% disso, resulta

numa recarga de 72,6 mm. Assim, a recarga aumentou em 4,8 mm, o que equivale a um aumento de 7,1%. Logo, houve aumento na média pluviométrica e, portanto, aumento na quantidade de recarga.

Assim, para o cálculo da variação da recarga total no município de Ribeirão Preto, temos para o primeiro período, 67,8 mm, que corresponde a recarga em 1 m², multiplicado por 103.886 m², que equivale a área total de recarga. Isto resulta em 7.043.470 litros. Para o segundo período, temos 72,6 mm multiplicado por 103.886 m², resultando numa recarga de 7.542.123 litros, aumento de 498.653 litros, o que equivale a um aumento de 7,1%. A tabela 10 e a figura 43 representam esta variação.

Tabela 10 - Estimativa e Variação da Recarga

	Média pluviométrica (mm/ano)	Recarga anual (litros/m²)	Recarga anual total (litros/103.886 m²)
série total	1494,0	70,2	7.292.797
série 1	1442,3	67,8	7.043.470
série 2	1545,7	72,6	7.542.123
variação %	7,2	7,1	7,1

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

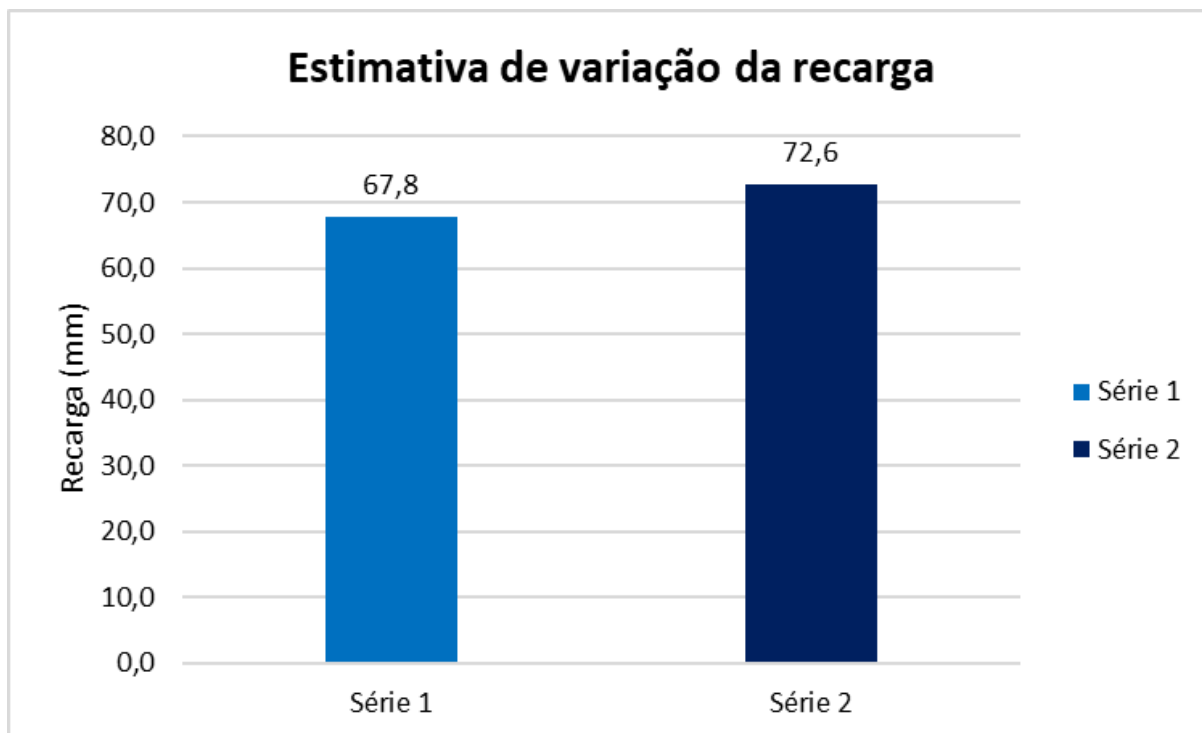


Figura 43: Estimativa de variação da recarga
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Entretanto, em escala decadal (figura 44), o estudo mostra diminuição sucessiva a cada década, na média pluviométrica anual, o que reflete na recarga. Assim, na última década, que compreende os anos de 2001 a 2010, a recarga ficou em 65,8 mm. Esse valor multiplicado pela área onde ocorre a recarga (103.886 m²) resulta em uma recarga média anual de 6.835.698 litros, ou seja, abaixo da recarga média de toda a série histórica de sessenta anos (7.292.797 litros).

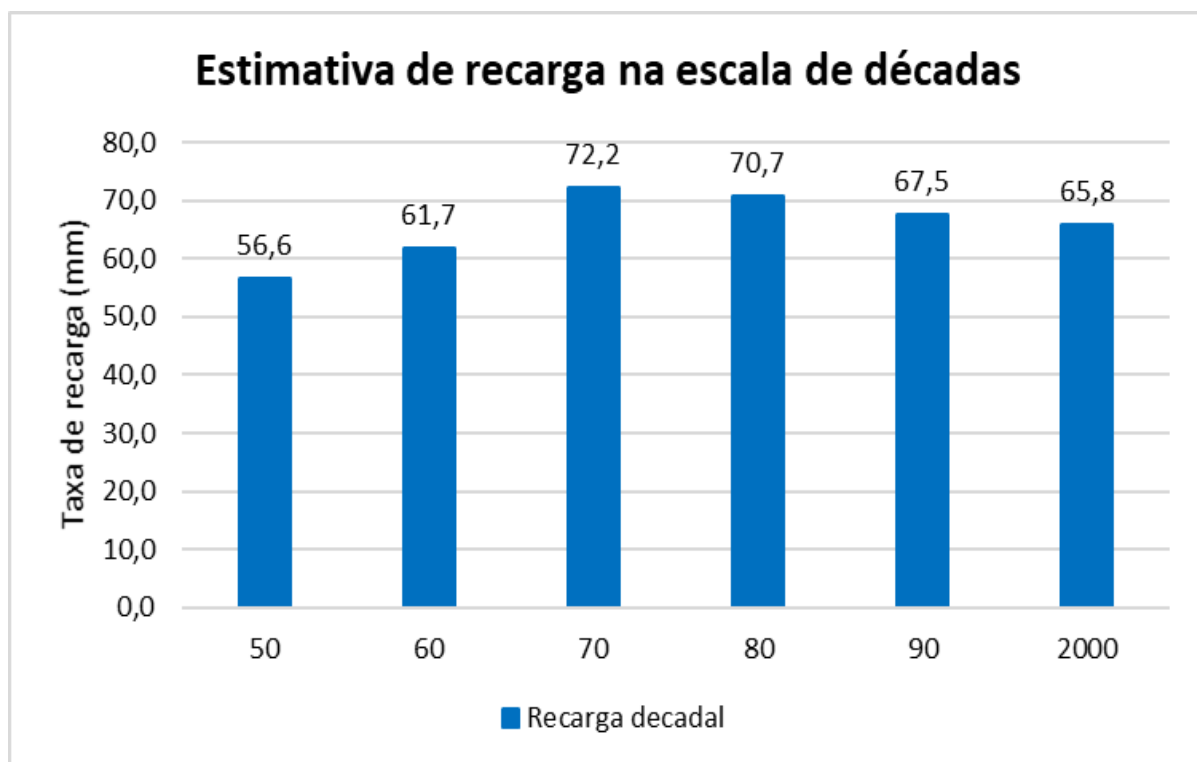


Figura 44: Estimativa de recarga na escala de décadas
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

8. Conclusão

Este trabalho foi possível graças à existência de um posto pluviométrico localizado sobre uma área de afloramento e recarga do SAG no município de Ribeirão Preto, bem monitorado, com uma série histórica longa e com pouquíssimas falhas.

Apesar disso, optou-se por suprir as falhas, e o método utilizado foi satisfatório, pois preserva todos os dados diários mensurados, sem precisar descartá-los, como geralmente ocorre com outros métodos.

Após as análises em diversas escalas temporais, assim como os resultados apresentados, podemos concluir que a média pluviométrica dos últimos trinta anos foi superior à do primeiro período em aproximadamente 7%. Ou seja, por esta análise, podemos dizer que o volume de precipitação pluvial na área de estudo aumentou, favorecendo a recarga do manancial subterrâneo.

Todavia, a análise em escala de décadas nos revela que a precipitação pluviométrica vem diminuindo sucessivamente, desde a década de 70, o que desfavorece a recarga.

Na escala mensal, tiveram aumento na média pluviométrica os três primeiros meses do ano, principalmente janeiro, além de maio e outubro. Dezembro permaneceu em estabilidade. Todos os outros seis meses do ano apresentaram diminuição em suas médias pluviométricas, com destaque para os três meses do inverno, principalmente os meses de junho e julho. Além disso, foi possível perceber que a precipitação passou a se concentrar mais no primeiro semestre do ano pois, no mês de maio passou a chover mais que no mês de setembro, março ficou mais chuvoso que novembro e, janeiro, ficou mais chuvoso que dezembro. Por fim, pudemos verificar que o mês de julho passou a chover menos que o mês de agosto.

Em escala sazonal de análise, ao compararmos as médias pluviométricas dos dois períodos de trinta anos, o estudo revelou que as estações do verão e outono tiveram aumento e o inverno e a primavera, diminuição em suas respectivas médias pluviométricas, corroborando com trabalhos de José Setzer do começo do século passado. Os resultados também podem ser favoráveis à recarga, já que aproximadamente 90% da recarga ocorre nos meses do verão.

Na escala semestral, o semestre mais chuvoso (outubro a março), ficou ainda mais chuvoso e o semestre menos chuvoso, obteve variação negativa na média

pluviométrica. O resultado desta análise pode ser favorável à recarga, já que ela ocorre somente no período chuvoso.

Podemos concluir que os resultados alcançados em todas as escalas temporais de análise são favoráveis à recarga, com exceção da escala de décadas. Portanto, os resultados desta análise devem ser vistos como um alerta sobre as mudanças climáticas que podem estar ocorrendo na região.

As condições de menor precipitação a cada década que se passa, nas últimas três décadas, acredita-se ser o resultado da somatória de fatores tanto de aquecimento global como da influência da atividade antrópica decorrente do desmatamento e impermeabilização da superfície principalmente.

Quanto a recarga na área de estudo, sabemos que está diretamente relacionada com a precipitação pluvial e, se esta aumenta, a recarga também aumenta, se a precipitação diminui, a recarga também diminui. O presente estudo concluiu recarga de 70,2 mm ou litros por metro quadrado, resultado muito próximo ao estimado pela FIPAI, de 69,0 mm. Considerando que 24% da área aflorada do município encontra-se impermeabilizada, a recarga equivalente, em toda a área de recarga do município de Ribeirão Preto (103.886 m²) é igual a 7.292.797 litros por ano, semelhante ao da FIPAI, que estimou a recarga em 7.168.127 litros.

O trabalho nos leva a refletir o quanto é importante que a urbanização não se expanda para estas áreas afloradas do SAG (área leste do município). Pois, 103.886 m² corresponde a 76% de toda a área aflorada no município. Os outros 24%, referem-se a uma área de 32.806 m² que, multiplicado por 70,2 mm, ou seja, a média de recarga anual por metro quadrado, isto equivale a um desperdício anual de aproximadamente 2.302.981 litros, o que corresponde a quase um terço da recarga efetiva de 7.292.797 litros, que poderiam estar recarregando o SAG, caso o solo não estivesse impermeabilizado.

Portanto, este trabalho levanta questões de quanto devemos nos preocupar em não mais impermeabilizar estas áreas, assim como a preocupação em não contaminar e não desperdiçar o recurso hídrico. Vale lembrar do custo muito maior em captar águas do rio Pardo. Desta forma, o trabalho alcança resultados que podem ajudar nos estudos que visam o uso sustentável das águas do SAG nesta região.

9. Considerações finais

É importante ressaltar que, como o trabalho foi baseado nos estudos feitos pela FIPAI em 1996, naquela época a área urbanizada do município de Ribeirão Preto situada sobre a área de recarga do SAG correspondia a 24% do território, mas, segundo estudos de Cavicchia mais recentes, em 2007, a área urbanizada já era equivalente a 40% do território, ou seja, a área de recarga diminuiu em 16%.

Isto significa que a área de recarga foi reduzida pela urbanização para apenas 82.015 m², ou seja, o equivalente a 60% de toda a área aflorada no município. Logo, 82.015 multiplicado por 70,2 resulta em uma recarga de 5.757.453 litros. Esta é a quantidade de recarga estimada para a toda a área de recarga disponível em 2007. No entanto, já estamos em 2021, ou seja, se passaram 14 anos e, portanto, acredita-se que esta área de recarga tenha diminuído ainda mais com a expansão da urbanização. Isto sugere que trabalhos nesta direção, no sentido de quantificar o quanto a área urbana pode ter crescido nestes catorze anos, podem ser importantes. Seria interessante conferir a atual área impermeabilizada do município para se estimar a recarga atual.

Também para trabalhos futuros, seria interessante produzir a média pluviométrica e a porcentagem de recarga a partir de uma regionalização hidrológica, ou qualquer outro método de quantificação da precipitação por área, tal como o método de Thiessen. Podemos sugerir também como trabalhos futuros, a medição da pluviometria nas próximas décadas, dando continuidade a este trabalho.

Finalmente, destacamos que, embora a recarga por metro quadrado tenha sido menor nas décadas de 50 e 60, pois a precipitação pluviométrica foi menor na região, naquela época a urbanização ainda não tinha se expandido tanto e, embora menor a quantidade de precipitação, a área do território disponível para a recarga era muito maior.

10. Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Aquífero dura só mais 50 anos, dizem especialistas.** Disponível em www.gov.br/ana/pt-br - Publicado em 19/06/2011, Atualizado em 15/03/2019 - Acesso em 06-01-2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Ministério do Meio Ambiente. **ORIENTAÇÕES PARA CONSISTÊNCIA DE DADOS PLUVIOMÉTRICOS.** VERSÃO JULHO, 2012. SUPERINTENDÊNCIA DE GESTÃO DA REDE HIDROMETEOROLÓGICA BRASÍLIA-DF, 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS - ANA (Brasil). **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos:** Avaliações e Diretrizes para Adaptação/ Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, GGES, 2016. 93 p.: il. ISBN: 978-85-8210-033-2.

ANGELOCCI, L.R.; SENTELHAS, P.C. **VARIABILIDADE, ANOMALIA E MUDANÇA CLIMÁTICA.** Material didático da disciplina LCE306 -Meteorologia Agrícola - Turmas 1,4,5 e 6 Departamento. de Ciências Exatas- setor de Agrometeorologia - ESAL/USP – 2007. 6 p.

AYOADE, J.O. **Introdução a climatologia para os trópicos.** J.O.Ayoade; tradução de Maria Juraci Zani dos Santos; revisão de Suely Bastos; coordenação editorial de Antonio Christofolletti. – 4. Ed – Rio de Janeiro; Bertrand Brasil, 1996. 332p.

BALDO, M.C. **VARIABILIDADE PLUVIOMÉTRICA E A DINÂMICA ATMOSFÉRICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO IVAÍ – PR.** Presidente Prudente, 2006. 160p.

BARBOSA, S.E. DA S.; BARBOSA JÚNIOR, A.R.; SILVA, G. QUEIROZ DA; CAMPOS, E.N.B.; RODRIGUES, V. DE C. **Geração de modelos de regionalização de vazões máximas, médias de longo período e mínimas de sete dias para a Bacia do Rio Carmo, Minas Gerais.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, n.1, p.64-71, 2005.

BARRETO, C.E.A.G.; **BALANÇO HÍDRICO EM ZONA DE AFLORAMENTO DO SISTEMA AQUIFERO GUARANI A PARTIR DE MONITORAMENTO HIDROGEOLÓGICO EM BACIA REPRESENTATIVA.** Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia. São Carlos, 2006. 271p.

BARROS, J.R.; ZAVATTINI, J.F. **BASES CONCEITUAIS EM CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA**. Mercator - Revista de Geografia da UFC, ano 08, número 16, 2009. Disponível em www.mercator.ufc.br – Acesso em 24-11-2018.

BERTONI, J. C. & TUCCI, C. E. M. **Precipitação**. In.: Hidrologia: ciência e aplicação, Org. Carlos E. M. Tucci, 2ª ed., 2. reimpr., Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2001.

BERTONI, J.C.; TUCCI, C.E.M. **Precipitação**. In: Tucci, C.E.M. Hidrologia: Ciência e aplicação. Porto Alegre. UFRGS, 2007. P. 177-241.

BIGARELLA, J. J.; MAZUCHOWSKI, Z. **Visão integrada da problemática da erosão**. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DA EROÇÃO, 3., 1985, Maringá. Anais... Maringá: ABGE/ADEA, 1985.

BLAIN, G.C. **Tendências e variações climáticas em séries anuais de precipitação pluvial do Estado de São Paulo**. Bragantia - vol. 69, nº 3. Campinas, 2010. versão impressa ISSN 0006-8705. Disponível em www.scielo.br - <http://dx.doi.org/10.1590/S0006-87052010000300031> - Acesso em 13-04-2020.

BORGHETTI, N.; BORGHETTI, J. R. & ROSA, E. F. F. **Aquífero Guarani - A verdadeira integração dos países do Mercosul**. Curitiba: Imprensa Oficial, 2004.

CARVALHO, M.B. **Geografia e Complexidade**. Scripta Nova. (Revista Eletrônica de Geografia y Ciências Sociais). Barcelona: n. 34, 1999.

CASTRO, C.D. **Tutela Jurídica do Aquífero Guarani no Município de Ribeirão Preto e Suas Consequências Sociais**. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Direito de Ribeirão Preto como requisito para a graduação em Direito. Ribeirão Preto - SP, 2015.

CASTRO I.E. GOMES P.C.C. CORRÊA R.L. **Geografia: conceitos e temas**. Rio de Janeiro, Ed. Bertrand Brasil, 2ª edição. 356p. 1995.

CAVALHEIRO, F.; PRESOTTO, A. & ROCHA, Y.T. **Planejamento e projeto paisagístico e a identificação de unidades de paisagem: o caso da Lagoa Seca do Bairro Jardim América, Rio Claro (SP)**. Geosp, São Paulo, n. 13, p. 155-161, 2003.

CAVICCHIA, M.E. **Desenvolvimento de Modelo Numérico para Gerenciamento de Recursos Hídricos Subterrâneos na Área do Projeto Piloto de Ribeirão Preto.** São Carlos, SP. 170 p. 2007.

CETESB – Companhia De Tecnologia De Saneamento Ambiental. **Relatório de Qualidade das Águas Subterrâneas do Estado de São Paulo – 1997.** CETESB,1998. São Paulo. 106p.

CHOLLEY, A. **Observações sobre alguns pontos de vista geográficos.** Boletim Geográfico. Rio de Janeiro, v. 22, n. 179, mar./abr.,1964.

CHRISTOFOLETTI, A. **Implicações climáticas relacionadas com as mudanças climáticas globais.** Boletim de Geografia Teórica. Rio Claro, vol. 23, n. 45-46, p. 18- 31, 1993.

CHRISTOFOLETTI, Antonio. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

CHRISTOFOLETTI, Anderson L. H. **Sistemas dinâmicos: as abordagens da teoria do caos e da geometria fractal em Geografia.** In: VITTE, A. C. e GUERRA, A. J. T. (org). Reflexões sobre a Geografia Física no Brasil. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004, p. 89-110.

CLEARY, R. W. **Águas Subterrâneas.** São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.clean.com.br/cleary.pdf>>. Acesso em: 26/11/2019.

CLEMENTE, G.F.A. **A Avaliação Ambiental Estratégica e o Projeto Etanol Verde Estratégico na bacia do rio Pardo – SP.** Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2013. 213 p.

COELHO NETTO A.L. 1992. **O Geocossistema da Floresta da Tijuca.** In: Abreu M.A. Ed. 1992. Natureza e Sociedade no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, Secr. Mun. Cultura/DGDI, Biblioteca Carioca, 21:104-142

COELHO, T.A.S.; SOUZA, P.H. **Precipitação no Município de Rio Claro/SP: Uma Análise Metodológica de Classificação de Anos Padrões.** I Simpósio Mineiro de Geografia – Alfenas 26 a 30 de maio de 2014. 286-300 p. ISBN: 978-85-99907-05-4.

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO PARDO (CBH-PARDO). **Relatório de situação dos recursos hídricos da bacia hidrográfica 2016 (ano base 2015).**

Grupo de Trabalho Permanente do Relatório Anual de Situação dos Recursos Hídricos e Plano de Bacia/UGRHI-4 Pardo - Ribeirão Preto, 2016. 111 p.

CONTI, J. B. **Geografia e Climatologia**. GEOUSP Espaço e Tempo (Online), [S. l.], v. 5, n. 1, p. 91-95, 2001. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2001.123516. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/123516>. Acesso em: 9 fev. 2021.

CONTI, J. B. - 1995 **Desertificação nos trópicos. Proposta de metodologia de estudo aplicada ao nordeste Brasileiro**. Tese de Livre-Docência apresentada ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da USP, 208 p.

CONTI, J.B. **Entrevista realizada** em julho de 2002, em João Pessoa, durante o XIII ENG, publicado por Geosul, Florianópolis, v.17, n.33, p 205-222, jan./jun. 2002.

CONTI, J. B. FLG 0114 – Mudanças Climáticas Globais e Implicações Locais Disciplina Ministrada pelo Prof. Dr. Ricardo Augusto Felício. Contribuição especial do Prof. José Bueno Conti – **Desertificação** – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas – Universidade de São Paulo. São Paulo – SP. 22 p. 2012.

CORDANI U. 2002. **The role of the Earth Sciences in a sustainable world**. Episodes, 23(3):155-162.

CORRÊA R.L. 1995. **Geografia: Conceitos e Temas** In: Castro I.E. Gomes P.C. Corrêa R.L. orgs. 1995. Geografia: conceitos e temas. Rio de Janeiro, Ed. Bertrand Brasil, p. 15-47.

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Atlas geoambiental das bacias hidrográficas dos rios Mogi Guaçu e Pardo - SP**: subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental. São Paulo: CPRM, 2002. p. 1-77.

CUNHA, A.T. **Estimativa experimental da taxa de recarga na zona de afloramento do Aquífero Guarani, para a região de São Carlos-SP**. Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. São Carlos, SP, 2003, 117 p.

DANTAS, M.E.; REGINA CÉLIA GIMENEZ ARMESTO, R.C.G.; SILVA, C.R.; SHINZATO, E. **Geodiversidade e análise da paisagem**: uma abordagem teórico-metodológica. 2015. Terræ Didática, p. 04-13. Disponível em www.ige.unicamp.br/terraedidatica - Acesso em 08-02-2021.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA – DAEE/SERH, INSTITUTO GEOLÓGICO – IG/SMA, INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT/SCTDE; CPRM-SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Mapa de águas subterrâneas do Estado de São Paulo**. Escala: 1:1.000.000. São Paulo: Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 2005 (CD-ROM e mapa).

DEPARTAMENTO DE ÁGUA E ESGOTOS DE RIBEIRÃO PRETO (DAERP) Disponível em www.ribeiraopreto.sp.gov.br - acessado em 03-02-2021.

ELY, D.F. **TEORIA E MÉTODO DA CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA BRASILEIRA: UMA ABORDAGEM SOBRE SEUS DISCURSOS E PRÁTICAS**. Presidente Prudente. 2006 208 f., il.; gráf. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Pesca e piscicultura no Pantanal**: o produtor pergunta, a Embrapa responde / editores técnicos, Débora Karla Silvestre Marques, André Steffens Moraes. – Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2010. 191 p.: il. – (Coleção 500 perguntas 500 respostas). Disponível em <https://forum.aegro.com.br/question/943196859097157632/qual-a-diferen%C3%A7a-entre-explora%C3%A7%C3%A3o-e-explora%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em 02/03/2021.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ” – UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO (ESALQ). Engenharia de Biossistemas. **Extrato do Balanço Hídrico Mensal em Ribeirão Preto**. Disponível em <http://www.leb.esalq.usp.br/leb/bhbrasil/> - Acessado em 06-02-2021.

EZAKI, S.; PÉREZ-AGUILAR, A.; HYPOLITO, R.; SHINZATO, M.C. **Anomalias De Flúor Nas Águas Subterrâneas Do Estado De São Paulo**. Revista do Instituto Geológico, São Paulo, 37 (1), 65-98, 2016.

FERDOWSIAN R.; PANNELL, D.J. **Explaining long-term trends in groundwater hydrographs**. In: WORLD IMACS/MODSIM CONGRESS, 18, 2009, Cairns, Australia. Proceedings of the [...] Cairns, 2009. Disponível em: <https://www.mssanz.org.au/modsim09/I1/ferdowsian.pdf>. Acesso em: 02 maio 2017.

FERREIRA, J.S. **TEORIA E MÉTODO EM CLIMATOLOGIA CLIMATOLOGIA: APORTES TEORICOS, METODOLOGICOS E TECNICOS**. Universidade Federal de Goiás. REVISTA GEONORTE, Edição Especial 2, V.1, N.5, p.766 – 773, 2012.

FIPAI (1996) **Relatório técnico do projeto de gestão da quantidade de águas subterrâneas – resultados**. Relatório técnico para o Departamento de Água e Esgotos de Ribeirão Preto (daerp).

FONTÃO, P.A.B. **Ritmo das Chuvas na Bacia do Pardo (SP/MG)**: Reflexos na Vazão dos Rios Pardo e Mogi-Guaçu. Rio Claro – SP. 2014. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. 127p.

FONTÃO, P.A.B.; ZAVATTINI, J.A. **Regionalização das Chuvas Anuais na Bacia do Pardo, Brasil**. Caderno Prudentino de Geografia, Presidente Prudente, n.36, Volume Especial, p. 143-158, 2014.

GALVANI, E. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA. Disciplina: FLG 0253 - CLIMATOLOGIA I - **CONCEITOS INICIAIS**. Professor: Emerson Galvani. São Paulo - SP. (Conceitos iniciais-Climatologia-Galvani) (2003).

GALVANI, E. **Sistema de Dados Quantitativos**. In: VENTURI, Luis Antônio Bittar (Org.). Praticando a Geografia: técnicas de campo e laboratório em Geografia e análise ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p. 175- 186.

GEOAMBIENTAL JR. – Empresa Júnior dos cursos de Engenharia Ambiental e Geografia – FCT/UNESP Presidente Prudente–SP **Diagnóstico Ambiental do Rio Aguapeí** - Projeto de Adequação Ambiental em Salto Botelho, Lucélia. 2019.

GOMES, M.A.F.; FILIZOLA, H.F.; SPADOTTO, C.A. **Classificação Das Áreas De Recarga Do Sistema Aquífero Guarani No Brasil Em Domínios Pedomorfoagroclimáticos** – Subsídio Aos Estudos De Avaliação De Risco De Contaminação Das Águas Subterrâneas. Revista do Departamento de Geografia, 18 (2006) 67-74.

GOMEZ OREA, D. **El medio físico y la planificación**. Madrid: CIFCA, 1978. 144p.

GONÇALVES, V. F. M.; SANTAROSA, L. V.; MANZIONE, R. L. **Mapeamento da recarga de águas subterrâneas no Sistema Aquífero Bauru (SAB) em área de proteção ambiental durante o ano hidrológico 2014/15**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS, 19, 2016, Campinas. Anais [...] Campinas: ABAS, 2016. 13p. Disponível em: www.abas.org . Acesso em 05-02-2021.

GOOGLE EARTH – MAPAS. <http://mapas.google.com>. Acesso em 05-07-2019.

HARE, et alli. - 1977 **"The making of desert: climates, ecology and society"** *Economic Geography* 53 (4). Worcester (USA), Clark University, pp. 332-346.

HIRATA, R.; CONICELLI, B.P.; PINHATTI, A.; LUIZ, M.B.; PORTO, R.; FERRARI, L. **O Sistema Aquífero Guarani e a crise hídrica nas regiões de Campinas e São Paulo (SP)**. Revista USP, São Paulo, n. 106, p. 59-70, 2015.

HIRATA, R.; SUHOGUSOFF, A.; MARCELLINI, S.S.; VILLAR, P.C.; MARCELLINI, L. **As águas subterrâneas e sua importância ambiental e socioeconômica para o Brasil**. São Paulo: Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências, 2019. ISBN digital 978-85-63124-07-4.

IG – Instituto Geológico/CETESB – Companhia De Tecnologia De Saneamento Ambiental/DAEE – Departamento De Águas E Energia Elétrica, 1997. **Mapeamento da vulnerabilidade e risco de poluição das águas subterrâneas no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2 volumes.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **População estimada**. Disponível em www.ibge.gov.br – acessado em 03 de fevereiro de 2021.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Aquífero Guarani**: subsídios ao plano de desenvolvimento e proteção ambiental da área de afloramento do sistema Aquífero Guarani no Estado de São Paulo. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2011. Cadernos do Projeto Ambiental estratégico de Aquíferos n.5.

KELLER E.A. 1996. **Environmental Geology**. New Jersey: Prentice-Hall. 562p.

KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I.F.A., 1984: **Eventos Oscilação Sul/El Niño**: característica evolução e anomalias de precipitação. Ciência e Cultura. Vol. 36, nº 11, p. 1888-1899.

LA BLACHE, P.V. **As Características Próprias Da Geografia**. Transcrito dos Annales De Géographie, 22 (124): 289-299, 1913. Título do original: "Des caractères distinctifs de la Géographie". Tradução de Odete Sandrini Mayer.

LEIVAS, J.F.; BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **Risco de deficiência hídrica decenal na metade sul do Estado do Rio Grande do Sul**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.10, n.2, p. 397-407, 2006.

LIBARDI, PAULO LEONEL. (1995). **Dinâmica da Água no Solo**. Departamento de Física e Meteorologia ESALQ/USP, Piracicaba, 497p.

LIMBERGER, L. **Abordagem Sistêmica e Complexidade na Geografia**. Geografia - v. 15, n. 2, jul./dez. 2006. UNESP. Rio Claro – SP. p. 95 – 109. Disponível em <http://www.uel.br/revistas/geografia>. Acesso em 29-01-2019.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. 2.ed. Rio de Janeiro: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981, 438p.

MACEDO, E.P. **Modelagem Matemática como Ferramenta para Elaboração de Planos de Ação Emergencial**. São Paulo, SP. 2013. 221 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.

MARTINELLI, M., « **Clima do Estado de São Paulo** », *Confins* [En ligne], 8 | 2010, mis en ligne le 14 mars 2010, consulté le 05 septembre 2018. URL : <http://journals.openedition.org/confins/6348> ; DOI : 10.4000/confins.6348.

MÉLLO, A.; BONNECARRERE, J. Disciplina PHA2307 - Hidrologia Aplicada - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade de São Paulo – USP. **Precipitações: Tipos, medição, interpretação, chuva média**. Parte 1 de 2. 53 p. Disponível em www.pha.poli.usp.br. Acesso em 20-09-2018.

MONTEIRO, Carlos Augusto de F. **Da necessidade de um caráter genético à classificação climática**. Revista Geográfica, São Paulo, Instituto Pan-Americano de Geografia e História. Rio Claro, 1962.

MONTEIRO, C.A.F. **A Frente Polar Atlântica e as Chuvas de Inverno na Fachada Sul-Oriental do Brasil** (Contribuição Metodológica à Análise Rítmica dos Tipos de Tempo no Brasil). São Paulo: Universidade de São Paulo/Instituto de Geografia, 1969. 68 p. (Série Teses e Monografias nº 1).

MONTEIRO, C.A.F. - 1971 - **Análise rítmica em Climatologia**. Problemas de atualidade climática e achegas para um programa de trabalho. Climatologia. São Paulo. Instituto de Geografia da USP nº 1, 21 p.

MONTEIRO, C.A.F. 1978. **Derivações antropogênicas dos geossistemas terrestres no Brasil e alterações climáticas**: perspectivas urbanas e agrárias ao problema da elaboração de modelos de avaliação. In: Simpósio sobre Comunidade Vegetal como Unidade Biológica, Turística e Econômica, 4. São Paulo, Anais, ACIESP.

MONTEIRO, C.A.F. **Geossistemas**: a história de uma procura. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2001. 127p.

MONTEIRO, C.A.F. **O Homem, A Natureza E A Cidade**: Planejamento Do Meio Físico. Revista Geografar. Curitiba-PR, v.3, n.1, p.73-102, jan./jun. 2008. Disponível em www.ser.ufpr.br/geografar. Acesso em 08/02/2021.

NASCIMENTO, S.R.; NERY, J.T. **Variabilidade da Precipitação Pluvial e da Temperatura do Ar em Ribeirão Preto (SP)**. Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina – 20 a 26 de março de 2005 – Universidade de São Paulo p. 10031-10041.

ORGANIZAÇÃO DOS ESTADOS AMERICANOS (OEA). **Aquífero Guarani**: programa estratégico de ação. Brasil; Argentina; Paraguai; Uruguai. Montevideo: OEA, 2009. Relatório do Projeto de Proteção Ambiental e Desenvolvimento Sustentável do Sistema Aquífero Guarani. Edição bilíngue.

OLIVEIRA, L.F.C.; FIOREZE, A.P.; MEDEIROS, A.M.M.; SILVA, M.A.S. **Comparação de metodologias de preenchimento de falhas de séries históricas de precipitação pluvial anual**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental (AGRIAMBI) v.14, n.11, p.1186–1192, 2010. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG – Disponível em <http://www.agriambi.com.br>. Acesso em 30-07-2017.

OLIVEIRA, H.V.B.; CARNEIRO, C.D.R. **Modelos 3D do Aquífero Guarani da Bacia do Paraná para divulgação científica**. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo, SP. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2008. Disponível em www.aguassubterraneas.abas.org – Acesso em 05-02-2021.

PARANÁ (ESTADO). GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Instituto das Águas do Paraná. Curitiba, PR. Disponível em <http://www.iat.pr.gov.br/>. Acesso em 13-08-2019.

PERTICARRARI, C. **Plano de bacia do Rio Pardo**. In: DAEE/IG. (org.). Memória seminário aquífero Guarani. Anais. Ribeirão Preto: DAEE, 2003, p. 90-95.

PORTAL DA CIDADE – Vassouras, RJ, Sítio eletrônico. Disponível em www.vassouras.portaldacidade.com. Acesso em 20-09-2018.

PORTAL SÃO FRANCISCO. **Aquífero Guarani**. Disponível em www.portalsaofrancisco.com.br – Acesso em 06-02-2021.

PREFEITURA MUNICIPAL DE RIBEIRÃO PRETO – SP (PMRP) - SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E GESTÃO PÚBLICA. **Revisão Da Lei De Parcelamento, Uso E Ocupação Do Solo**. Produto 4: Relatório Síntese Ambiental. 84 p. São Paulo, 2019.

PRUSKI, F. F.; PEREIRA, S. B.; NOVAES, L. F.; SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. **Precipitação média anual e vazão específica média de longa duração, na Bacia do São Francisco**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.8, n.2/3, p.247-253, 2004.

REBOUÇAS, A.C., (2001). **Outorga de Direito e Cobrança do uso da água subterrânea**. ABAS Informa, Janeiro-nº 110, p.

RECLUS, E. **A complexidade da produção do espaço geográfico**. In__ : ANDRADE, Manuel Correa de (org.). Élisée Reclus. São Paulo: Ed. Ática, 1985, p. 56 - 60.

RIGHETTO, ANTONIO MAROZZI. 1998. **Hidrologia e Recursos Hídricos**. São Carlos, EESC/USP. EDUSP, 819p.

ROCHA, G. A. **O grande Manancial do Cone Sul**. Estudos Avançados. São Paulo, v.11, n.30, p. 191-212, 1997. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/eav/article/view/9003/10555>. Acesso em: 25 out. 2018.

ROCHA, Y.T. **TEORIA GEOGRÁFICA DA PAISAGEM NA ANÁLISE DE FRAGMENTOS DE PAISAGENS URBANAS DE BRASÍLIA, SÃO PAULO E RIO DE JANEIRO**. Revista Formação, n.15 volume 1 – p.19-35. Palestra proferida no 3º Seminário de Paisagismo Sul-Americano, realizado entre 28 e 30 de maio de 2008, Rio de Janeiro (RJ).

RODRIGUEZ, A.C.M. **A Cartografia temática digital do estado de São Paulo – SP**. Universidade de São Paulo. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Departamento de Geografia. São Paulo, 2010. 236 p.

ROSS, Jurandyr L. S.; MOROZ, Isabel Cristina. **Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo**. Laboratório de Geomorfologia do Departamento de Geografia. FFLCH/USP. Revista Fapesp, 1998.

SALVADOR, M. A. e SANTOS, L.S.F.C. **Análise da precipitação na Cidade de São Paulo no período 1961-2009**. INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). In: Revista Brasileira de Climatologia, v.7, 2010.

SAMPAIO, C.F. **Avaliação ambiental do rio Pardo, Brasil**: ênfase para Áreas de Preservação Permanente, ecossistemas aquáticos superficiais e condições físico-químicas da água. Ribeirão Preto, 2012. UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO. 102 p.

SANT'ANNA NETO, J.L. **Avaliação das mudanças no regime das chuvas do Estado de São Paulo durante um século (1888 - 1993)**. Acta Scientiarum 21(4):915-921, 1999. ISSN 1415-6814.

SANT'ANNA NETO, J.L. **Por uma Geografia do Clima** - Antecedentes históricos, paradigmas contemporâneos e uma nova razão para um novo conhecimento. Laboratório de Climatologia - Departamento de Geografia da FCT/UNESP. Terra Livre. São Paulo n. 17 p. 49-62 2o semestre/2001.

SANT'ANNA NETO, J. L. **CLIMA E ORGANIZAÇÃO DO ESPAÇO**. Boletim de Geografia, v. 16, n. 1, p. 119-131, 2 fev. 2011.

SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. (Orgs.) **Variabilidade e mudanças climáticas**: implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá: Eduem. 2000. 259p.

SANTOS, A. R. Mundo geomática. **Balanço Hídrico Segundo Thornthwaite e Mather, 1955**. 2013. Apostila Climatologia. Capítulo 10. Disponível em: <http://www.mundogeomatica.com.br/CL/ApostilaTeoricaCL/Capitulo10-BalancoHidrico.pdf>. Acesso em: 02-03-2021.

SANTOS, J.R. **Recarga do Sistema Aquífero Guarani em Área de Afloramento em Bofete-SP entre 2012 e 2016**. Programa de Pós-Graduação em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos - UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" FACULDADE DE ENGENHARIA CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA. Ilha Solteira, SP. 98 p. 2018.

SANTOS M. 2000. **Por uma outra globalização**: do Pensamento Único à Consciência Universal. Rio de Janeiro: Ed. Record, 174p.

SANTOS, M.M.; ALENCASTRE, C.E.; CAETANO-CHANG, M.R.; KIANG, C.H.; GASTMANS, D.; CRIVELENTI, R. **Uso Atual Do Sistema Aquífero Guarani Na Bacia Hidrográfica Do Rio Pardo (UGRHI 04) (SP)**. XV Congresso Brasileiro de

Águas Subterrâneas, São Paulo, SP. Associação Brasileira de Águas Subterrâneas, 2008. Disponível em aguassubterraneas.abas.org – Acesso em 05-02-2021.

SANTOS, M. M.; CHANG, M.R.C.; KIANG, C. H. **ANÁLISE DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO DO SISTEMA AQUÍFERO GUARANI, EM SUA ÁREA DE AFLORAMENTOS NO ESTADO DE SÃO PAULO.** Revista Brasileira de Climatologia. ISSN: 1980-055x (Impressa) 2237-8642 (Eletrônica) Ano 8 – Vol. 10 – JAN/JUN 2012. p.153-170.

SÃO PAULO (ESTADO). Secretaria do Meio Ambiente/Instituto Florestal. **Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo.** São Paulo: SMA, 2005. 200p.

SÃO PAULO (ESTADO). SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE. **Meio ambiente paulista** [recurso eletrônico]: relatório de qualidade ambiental 2016/Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo. Coordenadoria de Planejamento Ambiental: Organizadores Edgar Cesar de Barros. Equipe técnica Aline Bernardes Cândido [et al] 1ª ed. São Paulo. SMA, 2016. 300p.

SEMAD/IGAM - **DIRETRIZES E ANÁLISES RECOMENDADAS PARA A CONSISTÊNCIA DE DADOS FLUVIOMÉTRICOS E PLUVIOMÉTRICOS** GOVERNO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD. Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM. Março de 2015. 17p.

SETZER, J. - 1946 - **A distribuição normal das chuvas no Estado de São Paulo.** *Revista Brasileira de Geografia.*, ano VIII n.1. p. 3-70. Tese para a IV Assembleia Geral do Instituto Pan-Americano de Geografia e História.

SISTEMA INTEGRADO DE GERENCIAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (SIGRH). Disponível em www.sigrh.sp.gov.br. Acesso em 06-02-2017.

SMA/São Paulo & StMUGV/Baviera, 2004. **Sistema de Informação para o gerenciamento ambiental dos recursos hídricos subterrâneos na área de afloramento do Aquífero Guarani no Estado de São Paulo.** Projeto em cooperação com a Secretaria de Meio Ambiente, Saúde Pública e Proteção ao Consumidor do Estado da Baviera (Alemanha). São Paulo.

STRECK, N. A.; BURIOL, G. A.; HELDWEIN, A. B.; GABRIEL, L. F.; PAULA, G. M. de. **Associação da variabilidade da precipitação pluvial em Santa Maria com a**

oscilação decadal do Pacífico. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.44, n.12, p.1553-1561, 2009.

SUGUIO, K. **Depositos coluvio-eluviais da porcao central da bacia hidrografica do rio parana (ms,sp e pr).** Instituto de Geociências (IGC). Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, SP, Brasil. 2007. Biblioteca Virtual da FAPESP. Disponível em <https://bv.fapesp.br/pt/auxilios/19242/depositos-coluvio-eluviais-da-porcao-central-da-bacia-hidrografica-do-rio-parana-mssp-e-pr/>. Acesso em 16-02-2021.

TEMPO AGORA. Sítio eletrônico. Disponível em www.tempoagora.com.br. Acesso em 20-09-2018.

TRICART, J. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1977. 97p.

VEGA, A. **Correlação e regressão linear**, Exercícios de Engenharia Mecânica. Engenharia Mecânica. Universidade de Caxias do Sul (UCS). Disponível em www.doccity.com. Acesso em 24-07-2017.

VESTENA, L.R.; CALUX, J. **Variabilidade pluviométrica e disponibilidade hídrica em Fernandes Pinheiro, região Centro-Sul do estado do Paraná.** Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia v2 n2 mai.- ago. 2009. Print-ISSN 1983-6325 (On line) e-ISSN 1984-7548. p. 7-18.

VEIGA A.T.C. 1999. **A geodiversidade e o uso dos recursos minerais da Amazônia.** Terra das Águas - UnB, 1: 88-102.

VILLAR, P.C.; RIBEIRO, W.C. **Sociedade e gestão do risco: o aquífero Guarani em Ribeirão Preto-SP, Brasil.** Revista de Geografia Norte Grande, n.43, p.51-64, 2009.

WARREM, A. 1993 - "**Desertification as a global environmental issue**" *Geo-Journal* 31. Kluwer Academic Publication, pp.1 1-14.

WCED. WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT. **Our Common Future**, Oxford Universit Press, New York. 1987.

APÊNDICE A

Tabelas de Coeficiente de Correlação de Pearson utilizados na correção das falhas diárias

Tabela 11 - Aplicação do Coeficiente de Pearson na falha do dia 07-02-1983.

fev/83	C4-034	C4-054	C4-075	C4-083	C4-086	C4-104
1	39,5	36,7	27,4	43,9	35,9	32,6
2	59,7	63,1	68,0	70,6	67,3	81,4
3	75,6	106,3	119,0	109,2	88,7	140,0
4	3,1	11,7	6,0	29,0	18,5	10,9
5	0,0	0,1	4,0	0,0	0,7	0,0
6	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
7	3,9	19,8	23,7	0,0	5,2	24,7
8	36,5	100,9	135,3	33,8	71,3	52,4
9	9,3	36,7	0,0	16,5	26,9	4,7
10	19,4	0,0	20,0	16,0	3,8	0,0
11	0,1	0,0	13,2	0,0	0,0	0,0
12	16,6	27,9	0,0	24,5	17,5	45,9
13	0,0	0,2	18,6	0,0	0,0	0,0
14	9,6	3,5	14,3	3,9	8,3	5,9
15	0,0	1,0	3,2	4,3	13,9	0,0
16	0,0	0,2	23,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,0	10,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	1,7	4,0	0,0	0,0	0,0
19	23,4	3,6	6,0	5,0	3,1	2,6
20	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
23	7,5	0,0	4,0	12,3	0,0	3,8
24	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0
25	0,3	0,1	0,0	1,2	0,0	0,0
26	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
27	2,5	11,5	29,0	2,2	5,1	0,0
28	3,5	4,3	3,5	9,3	14,1	2,4
29						
30						
31						
Coeficiente de Pearson	0,79	0,91		0,74	0,88	0,80
Total mensal			533,4			

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 12 - Aplicação do Coeficiente de Pearson nas falhas dos dias 27 e 29-06-1983.

jun/83	C4-034	C4-054	C4-075	C4-083	C4-086	C4-104
1	0,8	2,2	0,0	2,6	5,2	3,8
2	7,5	15,5	16,4	13,8	13,1	15,8
3	11,3	8,7	9,1	10,2	13,4	5,3
4	4,7	1,5	1,4	1,0	1,9	2,2
5	16,0	16,5	6,0	8,5	14,9	0,0
6	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
7	8,4	10,9	23,5	14,5	23,2	21,3
8	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
9	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
10	3,3	0,1	1,7	1,0	0,0	0,0
11	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
17	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
19	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
21	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
23	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,3	0,0	1,2	0,0
28	2,7	0,0	0,4	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	0,0
30	0,0	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
31						
Coeficiente de Pearson	0,69	0,82		0,95	0,93	0,96
Total mensal			60,0			

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 13 - Aplicação do Coeficiente de Pearson na falha do dia 31-01-1991.

jan/91	C4-034	C4-054	C4-075	C4-083	C4-086	C4-104
1	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
2	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
3	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
4	32,2	19,7	29,0		21,6	40,0
5	5,4	5,5	37,7		41,3	6,0
6	0,4	0,0	3,1		38,4	0,0
7	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0		0,0	3,0
9	0,0	5,5	21,1		28,4	0,0
10	0,0	7,1	2,5		1,5	0,0
11	22,9	15,8	53,6		6,9	53,5
12	11,9	6,3	11,4		6,3	0,0
13	6,8	47,9	2,6		3,1	4,0
14	0,2	8,4	0,0		4,3	0,0
15	16,4	30,0	13,2		23,6	20,0
16	31,1	5,0	41,0		35,7	25,0
17	5,6	11,9	1,7		23,2	0,7
18	0,9	0,0	5,9		40,5	0,0
19	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
20	0,0	14,3	0,0		0,0	0,0
21	27,3	0,0	70,6		41,2	37,3
22	0,0	0,0	0,0		4,7	2,5
23	0,0	3,0	20,0		0,0	0,0
24	1,3	0,0	0,0		8,7	14,8
25	0,0	0,0	16,6		0,0	0,0
26	6,1	0,1	54,4		14,4	14,8
27	42,7	50,4	66,2		55,7	20,0
28	37,6	71,0	3,1		75,3	72,0
29	23,1	0,0	44,1		3,7	3,0
30	0,0	11,0	0,0		13,5	6,0
31	12,5	6,8	20,4		26,1	0,0
Coeficiente de Pearson	0,67	0,09			0,39	0,45
Total mensal			518,2			

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 14 - Aplicação do Coeficiente de Pearson na falha do dia 29-02-1992.

fev/92	C4-034	C4-054	C4-075	C4-083	C4-086	C4-104
1	13,2		11,0	23,2	11,7	4,5
2	39,2		37,8	19,3	39,6	34,0
3	17,7		31,4	21,3	26,7	33,5
4	22,1		23,1	13,9	28,4	28,3
5	28,6		19,3	23,4	36,9	40,0
6	2,7		22,9	0,0	0,3	8,3
7	7,1		1,4	5,4	17,2	17,0
8	0,0		15,2	2,8	0,0	0,0
9	0,0		0,2	1,8	6,6	0,0
10	24,9		3,9	0,0	0,0	0,0
11	0,0		0,0	0,0	0,0	5,5
12	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
13	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
15	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
17	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
19	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
20	4,8		0,0	0,0	0,7	0,0
21	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
22	2,5		0,0	2,2	1,9	0,0
23	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0
24	3,5		0,0	3,2	0,0	0,0
25	0,0		0,0	0,9	1,5	0,0
26	18,4		4,1	31,0	0,0	4,2
27	5,3		0,2	0,0	0,0	7,0
28	0,0		0,3	0,7	3,6	0,0
29	16,1		10,5	8,4	10,9	12,5
30						
31						
Coeficiente de Pearson	0,74			0,62	0,80	0,83
Total mensal			181,3			

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 15 - Aplicação do Coeficiente de Pearson na falha do dia 01-01-2005.

jan/05	C4-034	C4-054	C4-075	C4-083	C4-086	C4-104
1	0,0	0,0	9,2	0,0	12,1	
2	0,0	0,0	12,4	0,0	0,0	
3	78,0	0,0	16,3	0,0	4,2	
4	35,0	47,3	38,6	55,5	67,5	
5	19,0	9,1	25,0	8,5	11,5	
6	33,0	0,0	2,5	2,5	9,4	
7	0,0	6,0	0,0	0,0	9,4	
8	0,0	28,5	6,8	0,0	12,5	
9	0,0	71,0	66,1	0,0	67,5	
10	83,0	8,5	0,0	0,0	0,0	
11	0,0	14,0	6,0	13,5	0,0	
12	24,0	0,0	13,5	28,3	72,5	
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
15	0,0	0,0	0,0	72,3	0,0	
16	0,0	0,0	0,0	48,3	0,0	
17	8,5	60,0	19,1	15,7	15,5	
18	9,5	17,3	18,3	0,0	18,5	
19	15,0	6,9	6,0	0,0	15,5	
20	25,5	10,4	32,4	9,9	21,2	
21	19,5	0,0	2,4	4,3	9,7	
22	0,0	0,0	0,0	4,7	0,0	
23	0,0	0,0	0,0	0,0	26,5	
24	0,0	0,0	0,0	0,0	12,5	
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
26	72,0	53,0	67,4	5,5	52,5	
27	3,0	3,0	0,0	2,0	7,5	
28	25,5	0,0	24,1	50,5	38,5	
29	0,0	12,0	13,1	88,0	39,5	
30	0,0	0,0	46,6	62,0	72,4	
31	70,0	0,0	6,2	0,0	19,5	
Coeficiente de Pearson	0,24	0,70		0,18	0,76	
Total mensal			432,0			

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 16 - Aplicação do Coeficiente de Pearson nas falhas dos dias 26, 27, 28, 29 e 30-09-2006.

set/06	C4-034	C4-054	C4-075	C4-083	C4-086	C4-104
1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	
2	0,0	8,6	0,0	0,0	9,0	
3	0,0	1,3	1,2	0,0	0,0	
4	1,0	0,0	0,0	0,0	2,5	
5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
11	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
17	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
19	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
21	2,6	29,0	25,3	30,0	52,5	
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
23	0,0	1,3	0,0	0,0	0,0	
24	20,1	4,3	12,3	0,0	28,2	
25	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
29	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
30	0,0	1,5	0,0	0,0	0,0	
31						
Coeficiente de Pearson	0,52	0,91		0,90	0,99	
Total mensal			38,9			

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 17 - Aplicação do Coeficiente de Pearson na falha do dia 25-12-2008.

dez/08	C4-034	C4-054	C4-075	C4-083	C4-086	C4-104
1		0,0	0,0	0,0	0,0	
2		0,0	0,0	0,0	0,0	
3		29,3	21,3	19,3	38,5	
4		0,0	0,0	0,0	0,0	
5		0,0	0,0	0,0	0,0	
6		0,0	0,0	0,0	16,0	
7		0,0	0,0	0,0	0,0	
8		11,0	0,0	0,0	7,5	
9		3,0	0,0	0,0	23,5	
10		0,0	18,1	0,0	0,0	
11		37,1	62,0	18,9	48,2	
12		1,3	13,1	8,0	28,5	
13		0,0	0,0	0,0	0,0	
14		0,0	0,0	0,0	71,5	
15		65,9	63,4	3,0	0,0	
16		5,6	17,0	28,5	31,0	
17		7,2	21,0	13,5	0,0	
18		0,0	0,0	0,0	0,0	
19		0,0	0,0	0,0	15,0	
20		0,0	0,0	3,0	0,0	
21		3,3	8,9	18,5	1,5	
22		0,0	14,3	17,5	2,7	
23		20,0	0,0	1,5	0,0	
24		0,0	0,0	4,0	2,7	
25		1,5	4,4	35,0	37,0	
26		25,5	53,1	18,0	22,0	
27		29,5	68,4	111,5	32,0	
28		7,3	8,7	3,0	4,0	
29		2,9	5,2	5,0	5,0	
30		0,0	0,0	0,0	2,5	
31		10,9	3,8	0,0	3,0	
Coeficiente de Pearson		0,83		0,62	0,31	
Total mensal			382,7			

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 18 - Aplicação do Coeficiente de Pearson na falha do dia 03-10-2010.

out/10	C4-034	C4-054	C4-075	C4-083	C4-086	C4-104
1		0,0	0,0	5,0	12,5	
2		6,5	0,0	10,0	11,5	
3		0,0	0,4	0,0	3,0	
4		0,0	0,0	0,0	0,0	
5		0,0	12,4	10,0	0,0	
6		0,0	0,0	0,0	0,0	
7		9,8	14,3	0,0	10,5	
8		28,7	34,9	35,0	68,5	
9		0,0	0,0	0,0	0,0	
10		0,0	0,0	0,0	0,0	
11		0,0	0,0	0,0	0,0	
12		0,0	0,0	0,0	0,0	
13		0,0	0,0	0,0	0,0	
14		0,0	0,0	0,0	0,0	
15		8,5	3,5	16,0	0,0	
16		0,0	0,3	0,0	0,0	
17		0,0	0,0	0,0	0,0	
18		0,0	0,0	0,0	0,0	
19		0,0	0,0	0,0	0,0	
20		0,0	0,0	0,0	0,0	
21		0,0	0,0	0,0	0,0	
22		0,0	0,0	0,0	0,0	
23		10,7	7,4	9,0	12,5	
24		1,5	2,0	0,0	9,5	
25		5,1	12,1	18,0	13,0	
26		0,0	0,0	0,0	0,0	
27		0,0	0,0	0,0	0,0	
28		0,0	0,0	0,0	0,0	
29		0,0	0,0	0,0	0,0	
30		0,0	0,0	0,0	0,0	
31		23,2	20,3	32,0	44,5	
Coeficiente de Pearson		0,902		0,864	0,898	
Total mensal			107,6			

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

Tabela 19 - Aplicação do Coeficiente de Pearson nas falhas dos dias 24 e 25-12-2010.

dez/10	C4-034	C4-054	C4-075	C4-083	C4-086	C4-104
1		3,5	11,1	13,0	3,5	
2		12,3	12,0	15,0	16,0	
3		0,0	0,4	8,0	12,5	
4		13,1	62,3	9,0	57,5	
5		0,0	0,0	0,0	0,0	
6		53,2	18,3	44,0	88,5	
7		0,0	0,0	0,0	0,0	
8		0,0	0,0	0,0	0,0	
9		0,0	18,5	39,0	0,0	
10		0,0	14,1	0,0	0,0	
11		0,0	0,0	0,0	0,0	
12		0,0	0,3	0,0	0,0	
13		0,0	0,0	0,0	0,0	
14		0,0	8,0	0,0	0,0	
15		2,6	4,1	7,0	0,0	
16		3,6	10,7	49,0	17,5	
17		0,7	0,0	0,0	29,0	
18		0,0	0,0	0,0	3,5	
19		3,4	6,0	0,0	7,5	
20		25,4	21,0	45,0	69,5	
21		0,0	0,0	0,0	12,5	
22		0,0	3,1	29,0	20,5	
23		2,5	0,7	3,0	24,5	
24		1,2	2,8	0,0	9,5	
25		6,1	4,1	2,0	13,0	
26		6,9	81,0	60,0	8,5	
27		0,0	8,1	0,0	32,5	
28		0,0	0,0	0,0	4,0	
29		0,0	0,0	0,0	0,0	
30		0,0	0,0	0,0	0,0	
31		0,0	0,0	0,0	0,0	
Coeficiente de Pearson		0,34		0,61	0,36	
Total mensal			286,6			

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

APÊNDICE B

Gráficos de Regressão Linear utilizados na correção das falhas diárias

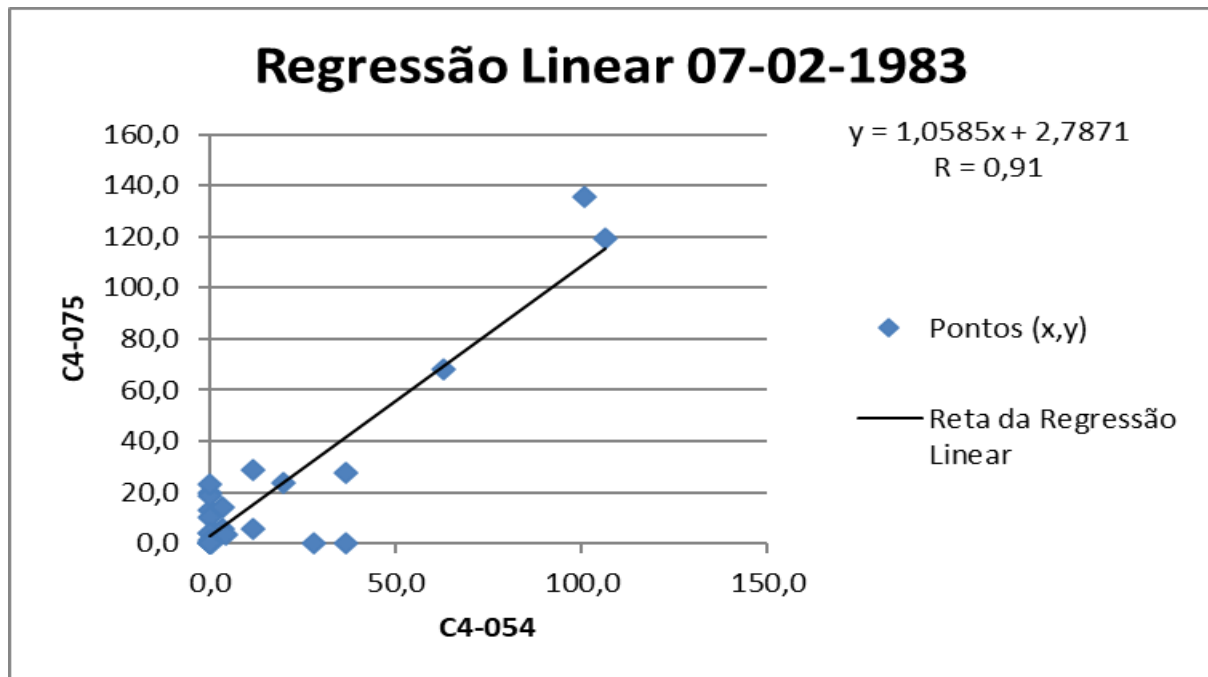


Figura 45: Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear na falha do dia 07-02-1983.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

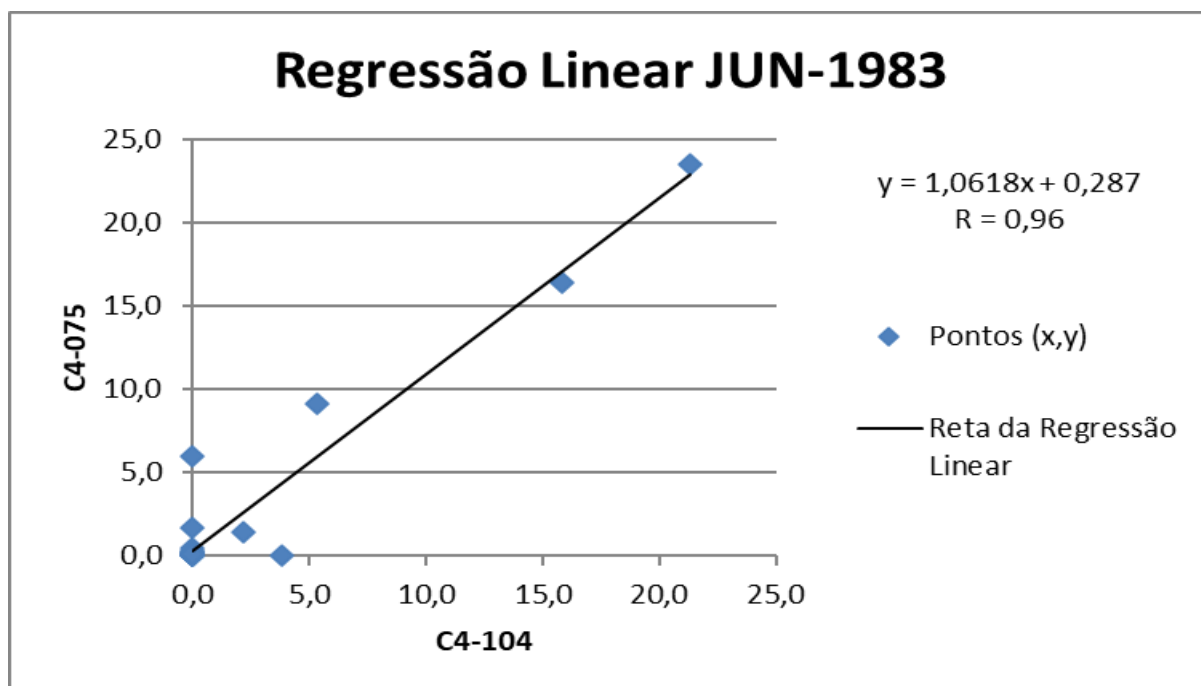


Figura 46: Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear nas falhas dos dias 27 e 29-06-1983.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

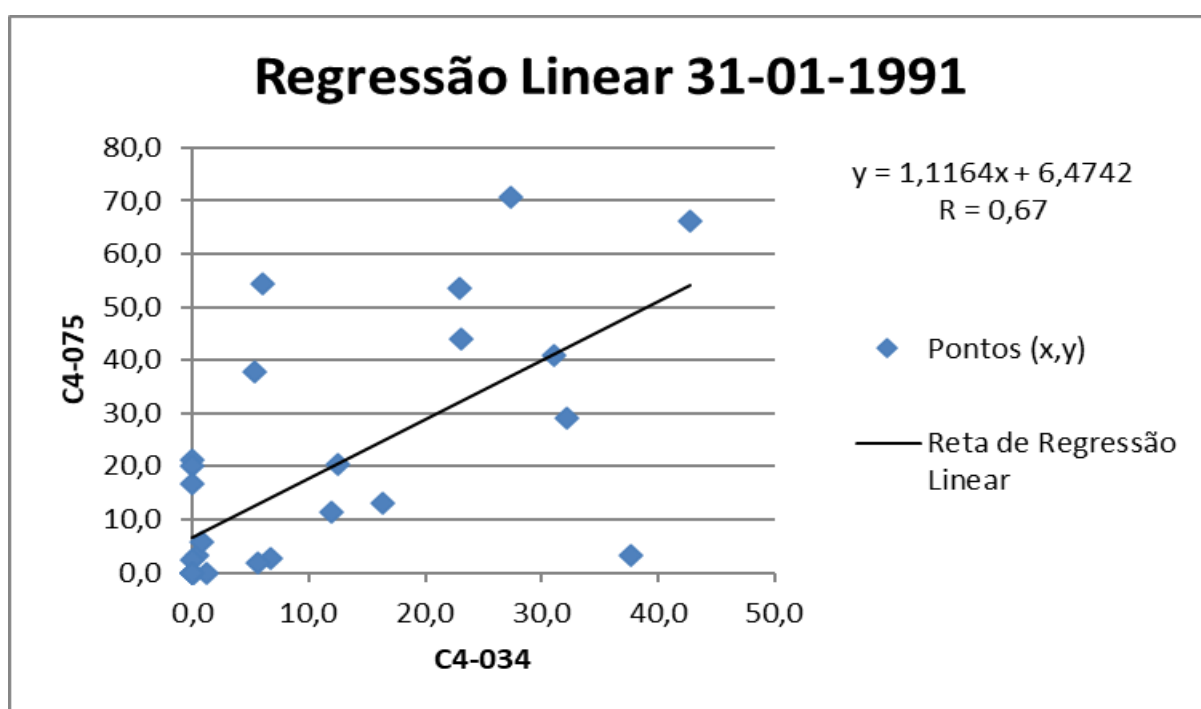


Figura 47: Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear na falha do dia 31-01-1991.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

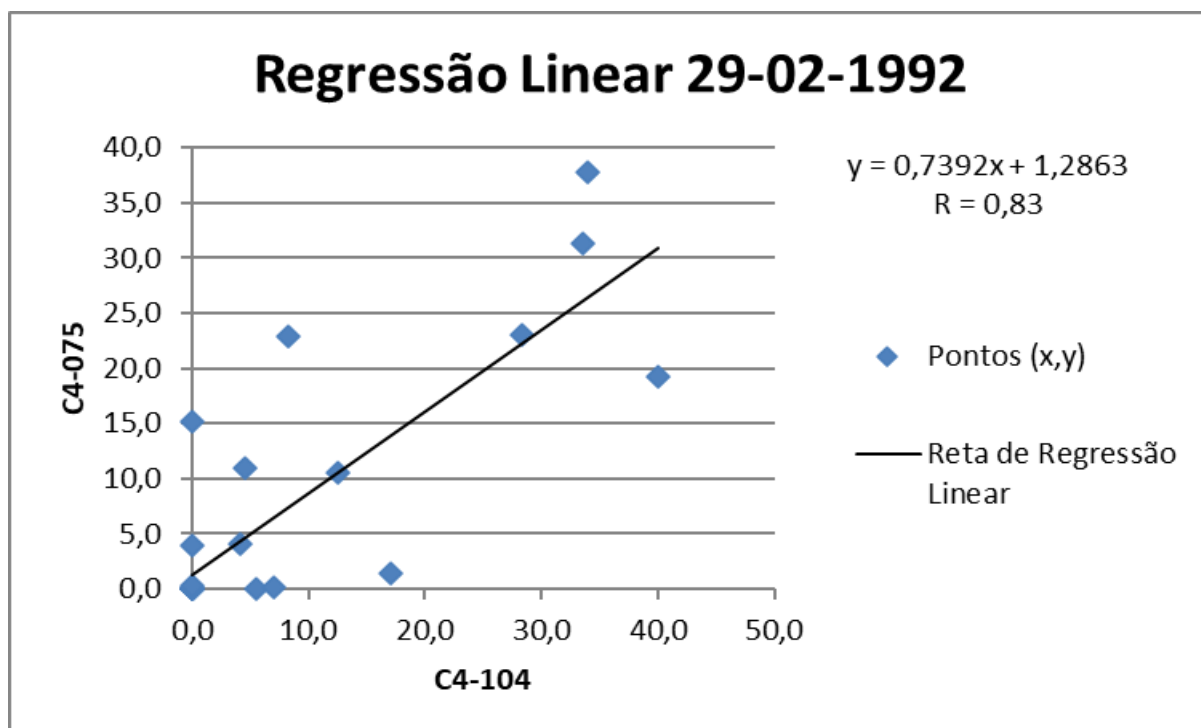


Figura 48: Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear na falha do dia 29-02-1992.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

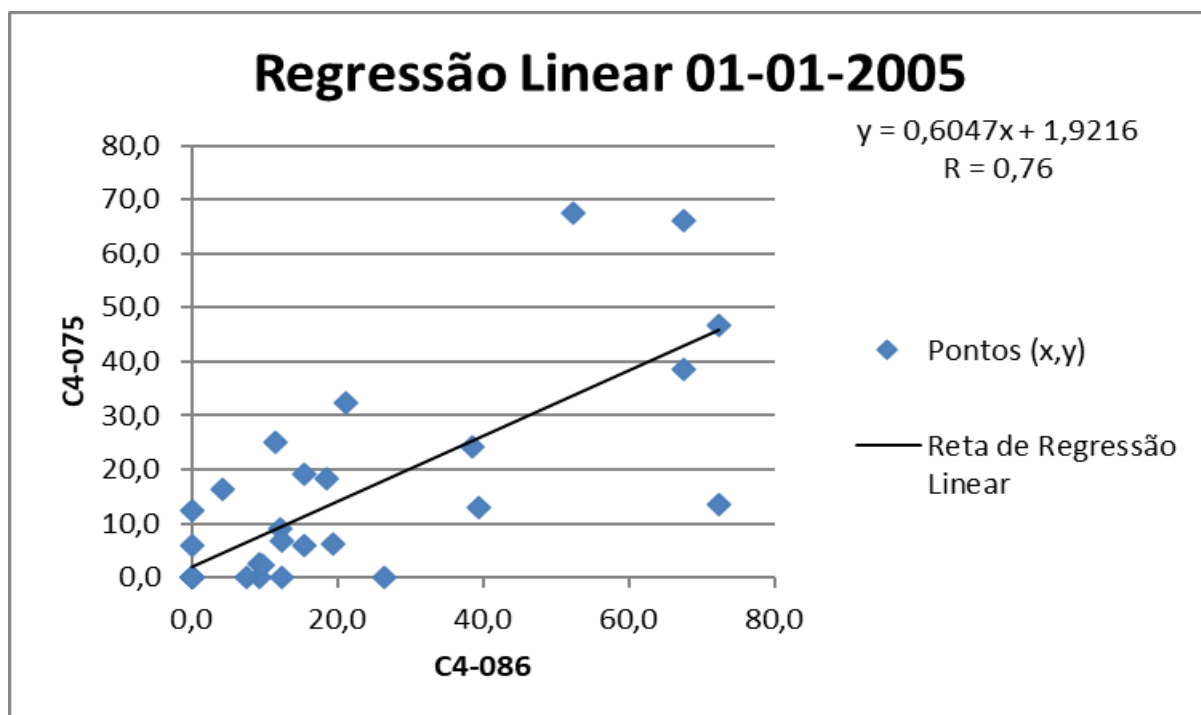


Figura 49: Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear na falha do dia 01-01-2005.
Fonte: Elaborado pelo próprio autor

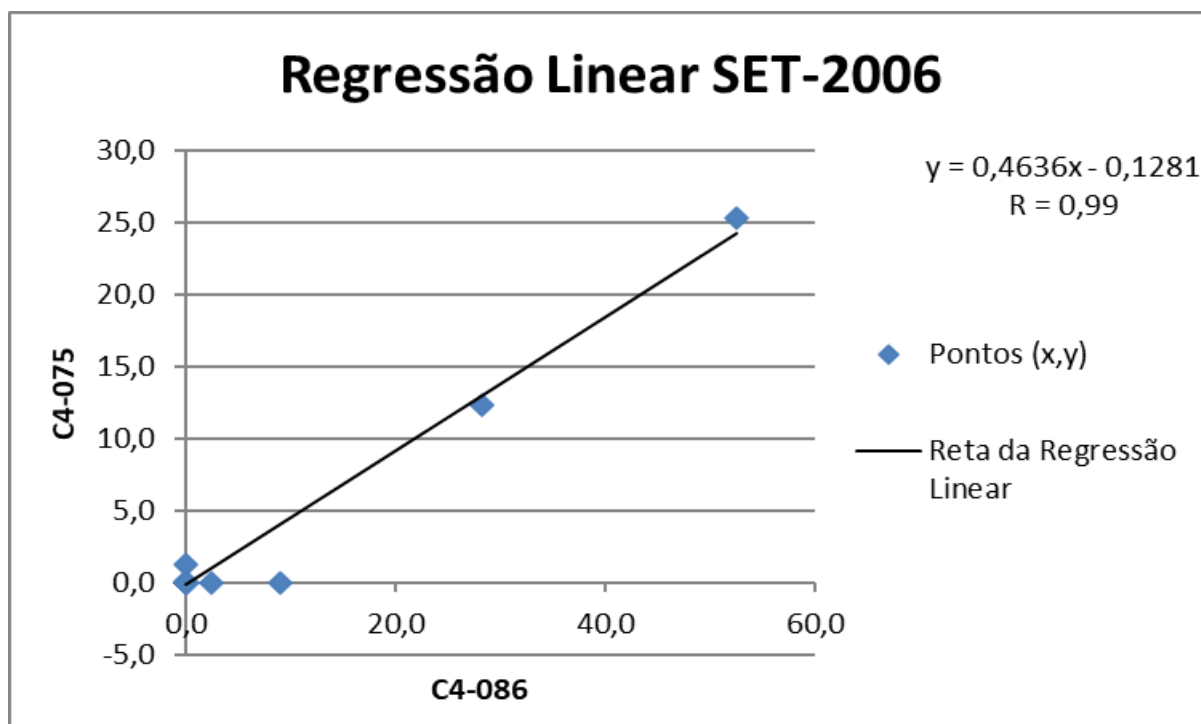


Figura 50: Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear nas falhas dos dias 26, 27, 28, 29 e 30-09-2006.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

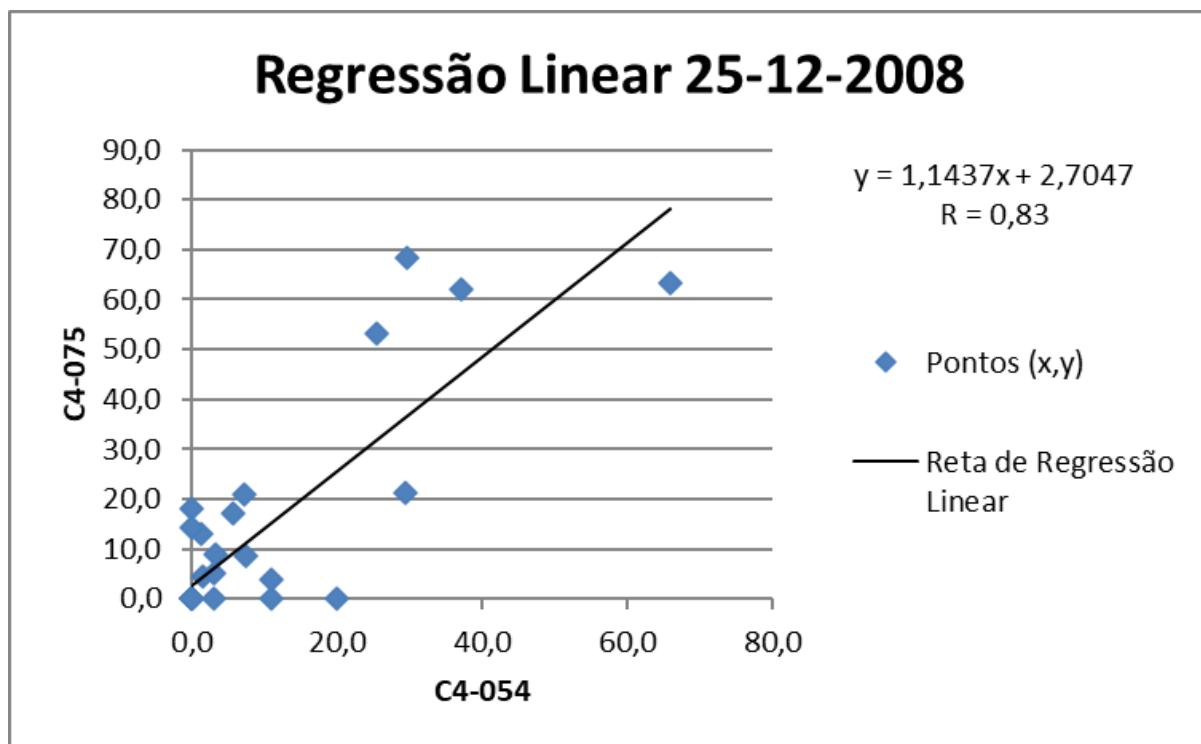


Figura 51: Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear na falha do dia 25-12-2008.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor

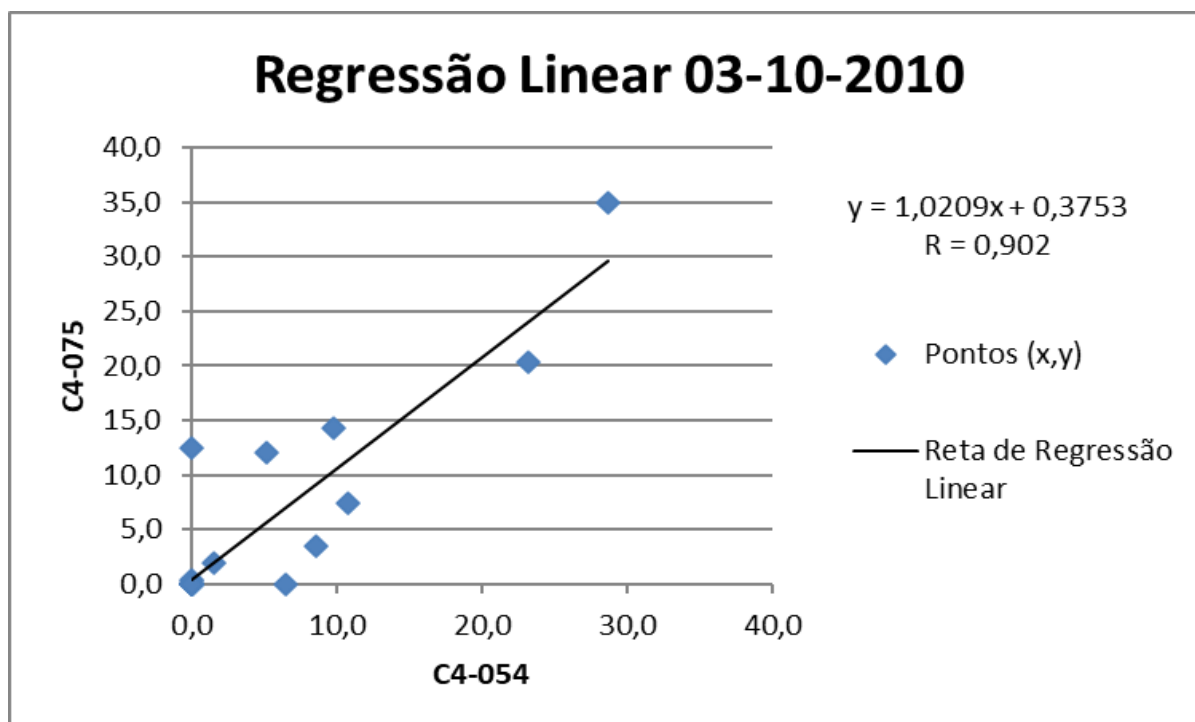


Figura 52: Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear na falha do dia 03-10-2010.
 Fonte: Elaborado pelo próprio autor

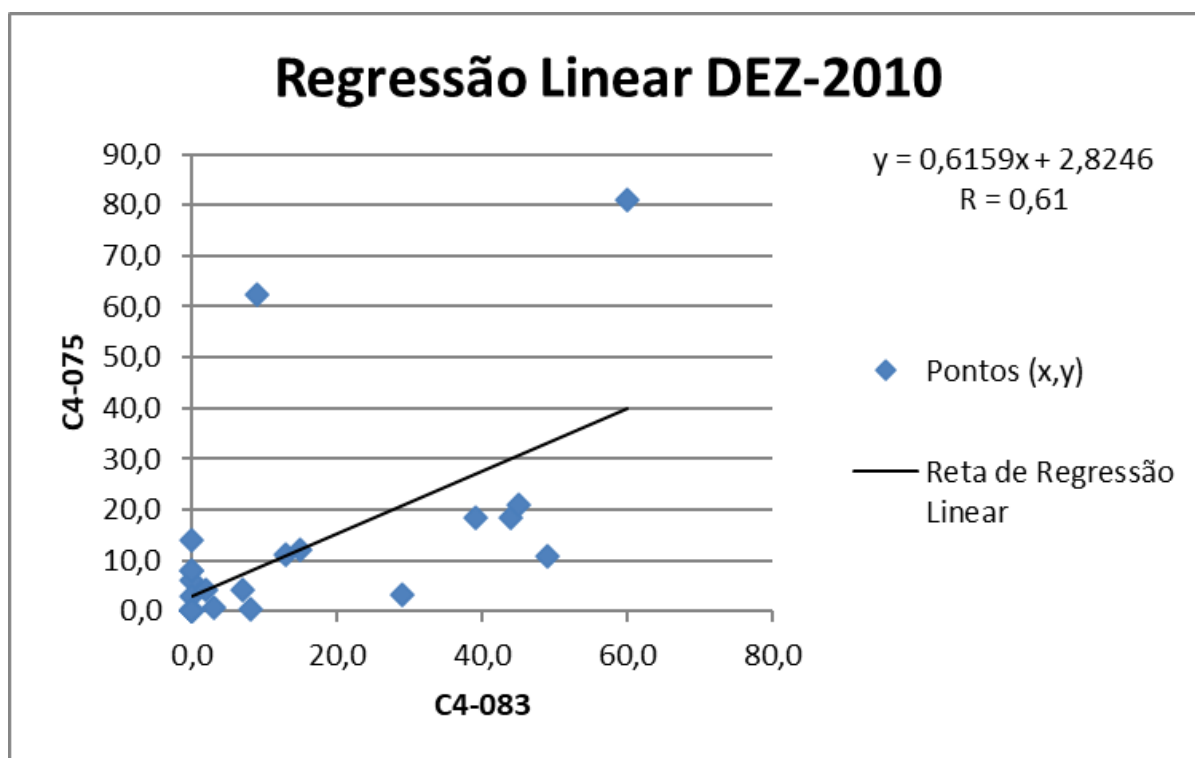


Figura 53: Gráfico de Dispersão e Reta de Regressão Linear nas falhas dos dias 24 e 25-12-2010.
 Fonte: Elaborado pelo próprio autor