

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Campus Experimental de Ourinhos

ANA CLÁUDIA DO CARMO CARVALHO

**ANÁLISE DA EROSIVIDADE E DE EVENTOS PLUVIAIS EXTREMOS**

Ourinhos - SP  
Dezembro de 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Campus Experimental de Ourinhos

ANÁLISE DA EROSIVIDADE E DE EVENTOS PLUVIAIS EXTREMOS

**Ana Cláudia do Carmo Carvalho**

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

Orientador: Jonas Teixeira Nery

Ourinhos-SP  
Dezembro de 2014

**BANCA EXAMINADORA**

Profº Jonas Teixeira Nery

---

Profª Edson Luis Piroli

---

Profª Ana Cláudia Carfan

---

Ourinhos, 11 de dezembro de 2014.

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho à minha família.

Ao meu pai, Nilton Carvalho, por ter me dado suporte e apoio durante toda minha graduação, além de ter me ajudado a acreditar em meus projetos. À minha mãe, Maria Jozilene do Carmo, pelo carinho e companheirismo que foram fundamentais nesse período.

E principalmente, eu dedico à minha irmã, Natália do Carmo Carvalho, por ter sido o melhor exemplo de dedicação, esforço e sucesso do qual eu me inspirei em todos esses anos.

## **AGRADECIMENTOS**

Os agradecimentos vão primeiramente ao Profº Jonas Teixeira Nery pelos ensinamentos e pela atenção durante os anos de graduação. Agradeço-o principalmente por acreditar na minha capacidade em realizar este trabalho, além de sempre me apoiar em meu progresso acadêmico.

Aos funcionários da UNESP Ourinhos, da biblioteca, da portaria, dos laboratórios e em especial pela ajuda de Angela Peres Crespo e da Profª Ana Cláudia Carfan pela ajuda que foi essencial na elaboração de todo o trabalho.

À FAPESP (Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo) pelo suporte financeiro concedido para execução das pesquisas.

E em especial aos meus amigos da graduação que foram importantíssimos pelo carinho, amizade, companheirismo e principalmente as alegrias desses cinco anos de universidade.

## RESUMO

Esse trabalho fundamenta-se em associar a ocorrência de eventos climáticos extremos ao processo de perda de solo ocasionado pelo impacto das gotas da chuva na superfície. A ocorrência de precipitações intensas tende a ocasionar severas consequências na superfície terrestre e assim na sociedade. Dentre elas o processo de erosão hídrica é responsável por prejudicar grandes áreas de plantações, levando a graves prejuízos por parte dos agricultores e ao meio ambiente. Assim, foi avaliado o valor de erosividade da chuva, fator R da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), detectando possíveis quadros erosivos através de precipitações pluviais. Nesse sentido, o presente trabalho realiza o estudo dos eventos de precipitação máxima, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI-17), compreendendo assim o caráter climatológico da região como maneira de prever pontos mais vulneráveis frente a chuvas intensas. Foi verificado que a média pluviométrica da área de estudo é de 1.391 mm e que os valores de erosividade da chuva oscilam em torno de 284 MJ ha<sup>-1</sup> mm h<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>. A distribuição de probabilidade de Log-Pearson tipo III é a que melhor se ajusta para previsão de chuvas máximas.

**Palavras-chave:** Precipitação pluvial, UGRHI-17, erosividade, extremos climáticos.

## ABSTRACT

This work is based in associate extreme climate events to lose of soil process caused by raindrops impact in the surface. The intense precipitation occurrence tends to bring on several consequences in Earth's surface and this way the society. Among them, the hydric erosion process is responsible for damaging great areas of plantation, bringing it to serious damages by farmers and environment. Thus, we evaluated the rain's erosion value, R factor of the Universal Soil Loss Equation – USLE, detecting possible erosion situations through pluvial precipitation. Accordingly, the present work has as aim to perform a maximum precipitation events study, in Medio Paranapanema hydric resources management unity (UGRHI – 17), comprising, this way, the region climatological character in a way to forecast more vulnerable points with intense rains. It was found that the average rainfall of the study area is 1,391 mm and the rainfall erosivity values oscillate around 284 MJ ha<sup>-1</sup> mm h<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>. The probability distribution of log-Pearson Type III is the one that best adjusts to forecast maximum rainfall.

**Keywords:** Rain, UGRHI-17, erosivity, climatic extremes.

## SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....	12
2.OBJETIVOS .....	15
2.1 Objetivo principal.....	15
2.2 Objetivos específicos .....	16
3.FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	16
3.1 Variabilidade Pluviométrica .....	16
3.2 Chuvas Extremas .....	19
3.3 Erosividade Da Chuva .....	22
3.4 <i>Software R – Subrotina Climatol</i> .....	24
3.5 Estudo das probabilidades.....	27
3.6 Área de estudo .....	32
4.MATERIAIS E MÉTODOS .....	38
4.1 Fonte de coleta de dados .....	38
4.2 Homogeneização .....	40
4.3 Análises estatísticas .....	41
4.4 Erosividade .....	43
4.5 Máximos de chuva .....	44
4.6 Funções teóricas de probabilidades e período de retorno.....	45
5.DISSCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	47
6.CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
7.REFERÊNCIAS .....	79
ANEXO I.....	85
APÊNDICE I .....	86
APÊNDICE II .....	89

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Municípios com adensamentos populacionais pertencentes à UGRHI-17 .....	34
Figura 2 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema no estado de São Paulo e as demais Unidades.....	35
Figura 3- Unidades hidrográficas principais da UGRHI-17.....	35
Figura 4 -Mapa das classes de solo da UGRHI-17. ....	36
Figura 5 - Mapa de susceptibilidade á erosão na UGRHI-17.....	37
Figura 6 - Localização da UGRHI-17 .....	38
Figura 7 - Mapa das 30 estações pluviométricas utilizadas para.....	38
o estudo na UGRHI- 17.....	38
Figura 8- Mapa das estações pluviométricas agrupadas para homogeneização....	41
das séries de dados.....	41
Figura 9 - <i>Layout</i> do <i>software Easyfit</i> na execução do teste de aderência.....	47
Figura 10 - <i>Layout</i> do <i>software EasyFit</i> na execução do teste de aderência.....	47
Figura 11 - Série de dados homogeneizados do posto pluviométrico.....	48
na cidade de Paraguaçu Paulista, no período de 1974 a 2010. ....	48
Figura 12- Série de dados homogeneizados do posto pluviométrico.....	48
na cidade de Rancharia, no período de 1974 a 2010.....	48
Figura 13 - Série de dados homogeneizados do posto pluviométrico.....	49
na cidade de Assis, no período de 1974 a 2010.....	49
Figura 14 – Isolinhas da média da precipitação pluvial (mm) incidente sobre a área de estudo, correspondendo ao período de janeiro de 1974 a dezembro de 2010. ..	51
Figura 15 – Isolinhas do coeficiente de variação da precipitação pluvial (mm) incidente sobre a área de estudo, correspondendo ao período de janeiro de 1974 a dezembro de 2010.....	51
Figura 16 – Isolinhas de desvio-padrão da precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período de janeiro de 1974 a dezembro de 2010.....	52
Figura 17- Isolinhas de amplitude da precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período de janeiro de 1974 a dezembro de 2010. ..	52
Figura 18- Isolinhas da média da precipitação pluvial (mm) sobre área de estudo, correspondendo ao período seco de junho, julho e agosto de 1974 a 2010.....	53
Figura 19 - Isolinhas da média da precipitação pluvial (mm) sobre área de estudo, correspondendo ao período úmido de dezembro, janeiro e fevereiro de 1974 a 2010.....	53

Figura 20 - Isolinhas da média da precipitação pluvial (mm) sobre área de estudo, correspondendo ao período seco de abril a setembro de 1974 a 2010. ....	53
Figura 21 - Isolinhas da média da precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período úmido de outubro a março de 1974 a 2010. ....	54
Figura 22 - Isolinhas de valores máximos de precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período de 1974 a 2010. ....	55
Figura 23 - Isolinhas de valores mínimos de precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período de 1974 a 2010. ....	55
Figura 24 - Isolinhas de valores máximos da precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período úmido dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro de 1974 a 2010. ....	56
Figura 25 - Isolinhas de valores máximos da precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período úmido dos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março de 1974 a 2010. ....	56
Figura 26 – Variabilidade espacial da chuva na UGRHI-17, no ano 1983. ....	57
Figura 27 – Variabilidade espacial da chuva na UGRHI-17, no ano 1988. ....	58
Figura 28 – Variabilidade temporal na estação da cidade de São Manuel (região Sudeste). ....	59
Figura 29 - Variabilidade temporal na estação da cidade de Paraguaçu Paulista (região Norte). ....	59
Figura 30 - Isoerodentes médias para o mês de dezembro ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010. ....	61
Figura 31 - Isoerodentes médias para o mês de janeiro ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010. ....	61
Figura 32 - Isoerodentes médias para o mês de fevereiro ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010. ....	61
Figura 33 - Isoerodentes médias para o mês de junho ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010. ....	62
Figura 34 - Isoerodentes médias para o mês de julho ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010. ....	63
Figura 35 - Isoerodentes médias para o mês de agosto ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010. ....	63
Figura 36 - Isoerodentes médias para de todo período analisado ( $\text{MJ há}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010. ....	64
Figura 37 - Isoerodentes médias para o trimestre úmido ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010. ....	64
Figura 38 - Isoerodentes médias para o semestre úmido ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010. ....	65
Figura 39 - Gráficos dos máximos de chuvas, entre os anos de 1974- 2010 na estação de São Manuel (2248026) e Botucatu (2248029), SP. ....	68

Figura 40 - Gráficos dos máximos de chuvas, entre os anos de 1974- 2010 na estação de Cabrália Paulista (2249023) e Marília, (2249008), SP. ....	69
Figura 41- Localização das estações utilizadas para análise dos eventos extremos na UGRHI-17. ....	69
Figura 42 - Mapa tridimensional da altitude da UGRHI-17. ....	71
Figura 43 - Análise de regressão linear na estação da cidade de Botucatu. ....	75
Figura 44 - Análise de regressão linear na estação da cidade de Marília. ....	76
Figura 45 - Análise de regressão linear na estação da cidade de São Manuel. ....	76
Figura 46 - Análise de regressão linear na estação da cidade de Assis. ....	76

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Identificação e localização dos postos pluviométricos da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI-17).....	39
Tabela 2 – Estatísticas descritivas aplicadas para análise da precipitação pluvial (mm) incidente sobre a UGRHI-17, durante o período de 1974 a 2010. ....	49
Tabela 3 - Valores médios de índice de erosividade (EI30) mensal (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> ) para o período de 1974 a 2010 na UGRHI-17.....	66
Tabela 4 – Valores máximos diário anual de chuva de 1974 a 2010 na UGRHI-17. ....	67
Tabela 5 – Meses de ocorrência dos extremos pluviométricos entre 1974-2010 na UGRHI-17. ....	70
Tabelas 6 e 7 – Distribuições de probabilidade nas estações da cidade de Marília e São Manuel, respectivamente. ....	73
Tabelas 8 e 9 - Distribuições de probabilidade nas estações da cidade Botucatu e Assis, respectivamente.....	73
Tabelas 10 e 11 Distribuições de probabilidade nas estações da cidade Ourinhos II e São Pedro do Turvo, respectivamente.....	73
Tabelas 12 e 13- Distribuições de probabilidade nas estações da cidade Ourinhos I e Cabrália Paulista, respectivamente. ....	73
Tabela 14 – Ranking entre a função de distribuição de probabilidade. ....	74
Tabela 15 - Quadro com as equações das retas e o R <sup>2</sup> .....	77
das estações pluviométricas.....	77

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A água é um elemento indispensável à vida na Terra, é a partir dela que o ser humano satisfaz suas necessidades básicas de sobrevivência. O ciclo hidrológico é o mecanismo responsável pela manutenção desse recurso, interagindo com os processos atmosféricos e as propriedades físicas de água.

A precipitação atmosférica constitui o ramo descendente do ciclo hidrológico cujo regime é determinado por suas características físicas, topográficas, geológicas e por seu clima, além da precipitação e evaporação que contribuem diretamente para o balanço hídrico. A precipitação pluviométrica é importante devido apresentar uma distribuição espacial e temporal com influência na evaporação, a qual reduz o escoamento superficial, retirando grande quantidade de água das superfícies líquidas incorporando novamente à atmosfera (AMORIN, 2002, p.72).

A distribuição da água para as diferentes regiões geográficas ocorre a partir do abastecimento das bacias hidrográficas através das ramificações de seus corpos d'água. A precipitação pluvial é a responsável pela recarga do potencial hídrico das bacias, essa disponibilidade não ocorre de maneira uniforme em todo território, devido à existência de dinâmicas climatológicas diferenciadas em cada local.

O clima é, dentre os inúmeros elementos da paisagem que compõem as características ambientais de uma bacia hidrográfica, um de seus principais formadores. O conhecimento detalhado de sua dinâmica e das interações que mantém com os demais elementos do ambiente é uma contingência necessária para toda e qualquer atividade humana. A estreita relação existente entre os aspectos climáticos e as atividades agrárias, urbanas e industriais ateste a importância do conhecimento das condições climáticas para o gerenciamento de tais atividades (MENDONÇA, 1997 *apud* BALDO, 2006, p.01).

De acordo com Silva (1995) o termo bacia hidrográfica refere-se a uma compartimentação geográfica natural, delimitada por divisores de água. Este compartimento é drenado superficialmente por um curso d'água principal e seus afluentes.

O princípio fundamental de adoção da bacia hidrográfica como unidade físico-territorial básica serve para o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos. Os estudos de bacias adotados por vários autores, possibilitam um melhor planejamento dos recursos naturais que a integram, abarcando as características econômicas, sociais, políticas e culturais de uma região (NERY, 2009, p. 2).

Os regimes pluviométricos estão diretamente relacionados com fenômenos meteorológicos dos quais variam em intensidade, quantidade e frequência, que contribuem para formação de distintas paisagens e espaços, influenciando assim na interação entre homem e natureza.

Entre os inúmeros elementos climáticos, a pluviosidade se destaca por apresentar interação com diversos elementos da sociedade. Seu estudo colabora para as diversas

atividades socioeconômicas sobre o espaço, principalmente naquelas que se relacionam com aspectos naturais como solo e a chuva.

Nesse sentido, o estudo da precipitação pluvial torna-se relevante no planejamento de atividades agrícolas, visto que as chuvas interferem no preparo do solo, no rendimento das culturas e nas necessidades de irrigação.

O planejamento das principais atividades econômicas (indústria, agricultura e turismo) depende, fortemente, do regime de precipitação. Por isso, estudar as variações do regime de chuvas é um modo de se adequar o planejamento a essas variações e também de se prevenir prováveis impactos sobre as atividades desenvolvidas (SILVA, 2006 *apud* MALVESTIO, 2008, p. 187).

Dentre os elementos meteorológicos, a chuva é um dos principais fatores a se considerar na análise da erosão das terras. Esta, por sua vez, é a responsável pela geração e pela intensidade de processos erosivos que tendem a acarretar em prejuízos para agricultura.

Apesar dos recentes avanços tecnológicos e científicos, o clima ainda é a variável mais importante na produção agrícola. [...] Os parâmetros climáticos exercem influência sobre todos os estágios da cadeia de produção agrícola, incluindo preparação da terra, semeadura, crescimento dos cultivos, colheita, armazenagem, transporte e comercialização (AYOADE, 2002, p. 261).

O processo de erosão pode ser acelerado caso ocorra práticas inadequadas de manejo do solo em atividades agrícolas, deixando o solo muito mais vulnerável ao impacto da chuva.

Os solos apresentam-se como um dos recursos mais degradados pela ação da pluviosidade. São imprescindíveis para a vida animal e vegetal, possuem um processo de formação lento e gradual, porém o seu depauperamento, devido principalmente ao manejo e ocupação inadequada, é muito rápido podendo ser calculado após episódios extremos de precipitação pluvial (MALVESTIO, 2008, p. 187).

Assim a ação das chuvas sobre a superfície pode ser determinada pelo fator erosividade que:

[..] expressa o potencial da água da chuva para desagregar o solo e transportá-lo por meio do escoamento superficial subsequente. Este potencial da água da chuva é função de sua energia, que depende tanto do tamanho das gotas como da intensidade da precipitação (LAL; ELLIOT, 1994 *apud* SILVA *et al.*, 2009, p.313).

A determinação do fator erosividade da chuva (R), pela Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) é uma contribuição para estudos relacionados ao planejamento conservacionista de uso e manejo do solo. Assim viabiliza a contenção de danos causados pelas atividades antrópicas ao meio ambiente.

O plano básico da EUPS é de ter previsão de médio a longo prazo de erosão do solo baseado em séries de longos períodos de coletas de dados e daí então promover o

planejamento de práticas conservacionistas para minimizar as perdas de solo a níveis aceitáveis (LARSON *et al.*, 1997 *apud* MINGOTI, 2009).

Assim, é imprescindível conhecer-se a variabilidade pluviométrica da região, para que possa ser realizado o manejo de solo adequado para evitar maiores danos ao meio ambiente e à própria sociedade.

Sabe-se que na região tropical do planeta os processos erosivos tendem a ser mais intensos devido a grande carga de precipitações que ocorre nos períodos mais quentes (chuvas convectivas, com grande potencial erosivo), além de ser acentuado pela ausência de cobertura vegetal.

O Brasil é um país localizado em uma zona tropical, possuindo elevado processo de evaporação favorecido pelas altas temperaturas. Dessa forma ocorre a formação de grandes nuvens, capazes de provocar chuvas de alta intensidade. Essas nuvens são denominadas de *cumulunimbus*, que surgem principalmente nos períodos de primavera e verão e podem causar poderosos processos erosivos.

A precipitação é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para os estudos climáticos das diversas regiões do Brasil. Tal importância deve-se às consequências que estas podem ocasionar, quando ocorridas em excesso (precipitação intensa), para os setores produtivos da sociedade tanto econômico e social (agricultura, transporte, hidrologia, etc), causando enchentes, assoreamento dos rios, quedas de barreiras, etc (CALBETE, *et al.*, 1996).

Entre os eventos extremos que acontecem no mundo com frequência e que mais afetam a sociedade, grande parte está relacionada aos fenômenos atmosféricos. As precipitações intensas podem acarretar uma série de problemas.

Koga (2005, p. 15) afirma que:

Os eventos extremos de precipitação fazem parte do ritmo climático de um lugar. Portanto, o conhecimento do comportamento das chuvas intensas é de fundamental importância para o planejamento do uso e ocupação da terra de forma a prevenir os impactos associados a esses episódios.

Em decorrência disso, as precipitações intensas são causadoras dos acidentes mais frequentes relacionados aos fenômenos climáticos. Assim de acordo com Koga (2005, p.06).

Na maior parte dos casos um evento extremo, acarreta impactos negativos, por se desenrolar de forma diferente da habitual e extrapolar a capacidade de absorção de suas consequências pela sociedade, que se encontra organizada com base nos parâmetros habituais de cada local.

O autor ainda completa dizendo que:

Todos os anos são registrados ao redor do mundo, muitas mortes e perdas econômicas decorrentes de episódios pluviais concentrados. Inundações, alagamentos, desabamentos, deslizamentos, desorganizações no espaço urbano, figuram entre as consequências das precipitações intensas que afetam milhares de pessoas” (KOGA, 2005, p.13).

Os eventos climáticos extremos podem ocorrer de muitas formas, como enchentes, secas prolongadas, ondas de calor, entre outros. No caso das chuvas, talvez seja a que mais possui um potencial negativo a impactos.

Os eventos extremos estão relacionados à climatologia e analisados através de cálculos estatísticos de uma longa série de dados. Confere-se como um aspecto importante no estudo de precipitações máximas.

Diversos trabalhos têm sido desenvolvidos com proposta de métodos mais eficientes para o ajuste estatístico de dados de precipitação máxima. Entretanto existe uma defasagem entre teoria e prática, que dificulta a aplicação de novas técnicas (DAUD *et al.*, 2002). Isto se torna particularmente importante para análise de bacias com grandes dimensões, que apresentam variabilidade no comportamento climático, como ocorre na bacia do rio São Francisco, que se estende entre as regiões Sudeste e Nordeste do Brasil (SILVA; CLARKE, 2004, p. 265).

A precipitação na forma de chuva é um dos elementos meteorológicos que mais influencia nas disponibilidades hídricas. O surgimento de constantes conflitos quanto aos usos da água levam a uma necessidade de conhecimento das potencialidades das bacias hidrográficas.

Moraes (2012, p. 11) afirma que “[...] uma bacia hidrográfica é comumente utilizada como referencial geográfico para o planejamento ou manejo dos recursos naturais”. Com isso, empregar a bacia hidrográfica como objeto de pesquisa, significa poder correlacionar fatores de distintas áreas de estudo, como, por exemplo, a Climatologia e a Pedologia.

“O elemento principal de uma bacia é a chuva. A partir dessa variável meteorológica se tem a entrada e a saída das águas, sendo o principal mecanismo de reposição de água no solo, com o objetivo de abastecimento dos recursos hídricos nas bacias hidrográficas” (NERY, 2009, p.2).

Nesse sentido, é imprescindível compreender a dinâmica dos processos erosivos e sua relação com eventos de precipitação extrema, assim como seus impactos ambientais na área da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema, uma vez que a atividade agropecuária é um importante fator para a economia regional.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo principal**

O objetivo geral deste trabalho é realizar o estudo de eventos extremos de precipitação, na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI-17), caracterizando os pontos vulneráveis a sofrer com a ação da erosividade das chuvas.

## 2.2 Objetivos específicos

- Estudo da variabilidade pluviométrica na UGRHI-17, verificando os eventos extremos de chuva entre o período de 1974 a 2010.
- Realizar estudos da erosividade da chuva através da análise de isoerodentes como contribuição para os estudos da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS).
- Calcular a estimativa para o período de retorno e probabilidade para os máximos de chuva.

## 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 3.1 Variabilidade Pluviométrica

Diversos estudos foram realizados na perspectiva de analisar o comportamento dos elementos meteorológicos e relacionar com aspectos preconizados pela Climatologia característica de uma dada localidade. “O clima refere-se às características da atmosfera, inferidas de observações contínuas durante um longo período” (AYOADE, 2002, p.02). Assim o estudo da variabilidade climática deve-se a observações das ocorrências periódicas de seus elementos, dentre eles, a precipitação pluviométrica.

Assim, pode-se considerar a:

[...] compreensão da dinâmica espaço-temporal dos elementos climáticos, principalmente da precipitação pluviométrica, que merece uma ênfase especial, uma vez que a sua distribuição no espaço e sua irregularidade do tempo tornam-se relevantes, não apenas do ponto de vista climático, mas principalmente pelas repercussões na agricultura e nos problemas de ordem econômica dela advindos, no abastecimento de água, produção de energia hidrelétrica, nos processos físicos e em outras formas de vida (BALDO, 2006, p. 02).

Moraes (2012, p. 12) coloca que “[...] quando se realiza um estudo sobre variabilidade climática numa bacia ou em qualquer área, um dos parâmetros meteorológicos mais importante é a precipitação e os danos que ela pode causar [...]”.

A variação pluviométrica é um dos mais importantes parâmetros meteorológicos, principalmente em se tratando de regiões tropicais. Todo um conjunto de atividades, entre elas as agrícolas, das quais tantas outras dependem, estão estreitamente associadas ao regime pluvial, sendo gravemente prejudicadas pelos episódios extremos, como as secas ou as enchentes (PARIZOTTO, 2008, p.23).

Assim, o conhecimento do regime pluviométrico é fundamental, pois atinge diversas esferas da sociedade, principalmente no setor social e econômico.

A variabilidade climática causa transtornos à economia e gera impactos sociais imensuráveis. Entretanto entender essa variabilidade do clima é de suma importância e tem sido o principal objetivo da comunidade científica que se dedica às ciências atmosféricas e oceânicas (PARIZOTTO, 2008, p. 24).

Essa variabilidade está interligada aos aspectos que interferem no clima de determinadas localidades ao longo do tempo. A Organização Mundial de Meteorologia (OMM, 1996), define o termo variabilidade climática como uma maneira pelas quais os parâmetros climáticos variam no interior de um determinado período de registro, expresso através de desvio padrão ou coeficiente de variação.

Sendo o clima muito dinâmico, torna-se necessária observação de seus principais elementos, como a temperatura, a umidade e a pluviosidade, por um longo período de tempo para se verificar se as variações de seu comportamento são realmente permanentes, ou são fatores de mudança climática, ou se são ciclos periódicos que tendem a se repetir de tempos em tempos, tratando-se apenas de variabilidade do clima (SANT'ANNA NETO; ZAVATINI, 2000 *apud* BALDO, 2006).

A faixa latitudinal na qual o Brasil se localiza, prevê uma variedade de tipos de circulação atmosférica que contribui para uma dinâmica climatológica bem diversificada. Essa dinâmica tende a sofrer alterações periódicas devido a mudanças no padrão climático entre a superfície terrestre e oceânica.

“A variabilidade da precipitação pluvial é importante nos trópicos, pois tende a ser mais variável do que na região temperada e também é mais sazonal em sua incidência dentro do ano” (AYOADE, 2002 p. 172). O autor ainda diz que, “Pelo fato das temperaturas mostrarem muita uniformidade nos trópicos, as subdivisões dos climas tropicais são usualmente baseadas no volume e na distribuição das precipitações” (AYOADE, 2002, p. 254).

A convecção tropical é essencialmente controlada - intensificada ou inibida - pela circulação geral da atmosfera, fenômenos de escala global, resultantes da interação complexa entre a superfície do planeta, particularmente a distribuição de continentes e oceanos com fornecimento desigual de energia solar, topografia e cobertura vegetal (MOLION; BERNARDO, 2002, p.1).

Existem alguns fenômenos climáticos que tendem a se relacionar com certos processos meteorológicos. Os regimes pluviométricos, por sua vez, podem ter seu padrão de circulação alterado, modificando assim sua intensidade.

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

O fenômeno El Niño - Oscilação Sul tem a sua origem situada no oceano Pacífico tropical. Dois componentes constituem o fenômeno, sendo um de

natureza oceânica e outro de natureza atmosférica, relacionado à correlação inversa existente entre pressão atmosférica nos extremos leste e oeste desse oceano, induzindo desta forma profundas modificações climáticas na região tropical e em várias regiões do globo terrestre (BALDO, 2006. p. 08).

De acordo com Moraes e Nery (2009, p. 170), esse fenômeno de grande escala espacial “ [...] é um evento que ocorre na primavera e no verão do Brasil e interfere nas características climáticas da circulação de grande escala atmosférica”.

[...] está relacionado com o aquecimento anômalo de águas frequentemente frias do lado leste do oceano. É este aquecimento que provoca mudanças na circulação atmosférica e conseqüentemente nas condições climáticas de várias partes do globo, inclusive no Brasil. Este fenômeno pode durar de 12 a 18 meses tendo início no começo do primeiro ano, atingindo sua máxima intensidade durante os meses de dezembro e janeiro e terminando na metade do segundo ano (MORAES 2009, p. 170).

Assim o evento El Niño pode ter efeitos que reagem diretamente com o regime pluviométrico nessas regiões.

O impacto causado pelo fenômeno El Niño - Oscilação Sul (ENOS), um exemplo de perturbação climática de escala global, pode ser sentido principalmente pela modificação no regime e no total de precipitação que, dependendo da intensidade do evento, pode resultar em secas severas, interferindo, de forma expressiva, nas atividades humanas (MOLION; BERNARDO, [s.d], p. 01).

Por outro lado, o fenômeno La Niña afeta as circulações atmosféricas de forma diferenciada em relação ao El Niño. Possui como características o resfriamento anormal nas águas superficiais do oceano Pacífico Tropical (CPTEC/INPE). Com isso, tende a influenciar no volume de chuvas na região Sudeste.

As perturbações climáticas de âmbito global por ele impostas interferem severamente nas atividades humanas. De maneira geral, sua fase negativa (El Niño) está associada a períodos secos nas regiões tropicais e a períodos quentes e úmidos nas extratropicais. A fase positiva (Anti-El Niño) é marcada pelos eventos contrários: períodos úmidos nos trópicos e secos e frios fora deles. No Brasil, dada a extensão do seu território, verificam-se as duas faces do fenômeno: secas da Amazônia e no Nordeste nos anos de El Niño e o contrário nos anos de Anti-El Niño (MOLION, 1989 *apud* NERY; MARTINS, 1992, p. 20).

No caso deste estudo, os anos de ocorrência de El Niño são mais relevantes, pois é o período em que ocorre maior intensidade da atividade convectiva, acentuando a média de precipitação e por conseqüência a erosividade das chuvas.

Ele atua diretamente na região Sudeste, ajuda a intensificar outro fenômeno comum no verão dessa região, a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU ou Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

Estudos realizados no sul do Brasil e São Paulo têm mostrado que o verão está dominado por sistemas convectivos oriundos do deslocamento da

Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), mais para o sul da linha do Equador, intensificando a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e originando chuvas intensas sobre esta região, além de Minas Gêrias e Rio de Janeiro (NERY; VARGAS 1996 *apud* BALDO, 2000, p. 04).

Ferreira *et al.*, *apud* Moraes (2012), afirmam que se pode entender ZCAS como um fenômeno típico do verão na América do Sul, caracterizado por uma persistente faixa de nebulosidade orientada no sentido nordeste-sudeste. Sua presença acarreta altos níveis pluviométricos nas regiões afetadas.

Responsável pela formação de convecções elevadas sobre a região Sudeste, a ZCAS vai desde a região Sul da Amazônia até a região do Atlântico Sudeste no verão e pode ser identificada através de imagens de satélite.

Observações indicam evidente associação entre períodos de enchentes de verão na região Sudeste e veranicos na região Sul com a permanência das ZCAS por períodos prolongados sobre a região Sudeste; por outro lado, períodos extremamente chuvosos no sul coincidem com veranicos na região sudeste, indicando a presença de ZCAS mais ao sul. Padrão de dipolo entre anomalias de precipitação pluvial nas regiões sul e sudeste devido à influência da ZCAS (JUNIOR; COLTRI; SOARES; 2008).

O monitoramento e estudo da ZCAS são importantes para a compreensão do quadro climático destas regiões. Assim, estudar o modo como estes eventos interagem, constitui-se como uma grande contribuição para previsão de impactos decorrentes das precipitações.

A configuração desses fenômenos, apesar de participarem de um sistema climático associado, respeita a particularidades de ocorrência relacionada a cada local. Assim os comportamentos dos elementos meteorológicos variam regionalmente, além de se sujeitarem aos padrões sazonais. Dessa forma, o estudo da variabilidade das precipitações faz com que sejam verificadas formas de determinação de padrões que auxiliem na previsão desses fenômenos.

### **3.2 Chuvas Extremas**

As chuvas intensas possuem uma dinâmica climática particularizada em relação a sua ocorrência. Essas chuvas apresentam um caráter excepcional, pois podem ocorrer associadas a outros sistemas meteorológicos. Esses eventos podem ser determinados por alguns fenômenos de escala global, além de ser influenciados pela característica do local em que ocorre.

Eventos extremos são definidos pelas precipitações máximas que ocorrem em determinado intervalo de tempo. “A precipitação intensa ou máxima é entendida como

chuva extrema, com duração, distribuição espacial e temporal crítica para uma área ou bacia” (TUCCI, 2007, p. 200).

Chuva intensa define-se como sendo aquela que registra um grande volume de água precipitado num curto espaço de tempo. Por exemplo, uma chuva de 20 mm, ocorrida em 24 horas, é considerada fraca, no entanto este mesmo valor, ocorrido em poucos minutos, que caracteriza a chuva de verão, é geralmente forte e a ocorrência é conhecida popularmente como pancadas de chuva (CALBETE *et al.* 1996).

As perdas provocadas pelas precipitações intensas diferenciam-se em cada local. Podem ocorrer graves prejuízos como a perda de safra na agricultura que afetará desde a população, economia até os impactos ao solo e problemas urbanos como enchentes, inundações, deslizamento, fatores esses que levam conseqüentemente a problemas de saúde para população.

Na maior parte dos casos um evento extremo, acarreta impactos negativos, por se desenrolar de forma diferente da habitual e extrapolar a capacidade de absorção de suas conseqüências pela sociedade, que se encontra organizadas com base nos parâmetros habituais de cada local (KOGA, 2005, p.06).

Gonçalves (2003) *apud* Koga (2005) colocam que um evento extremo é considerado risco quando ultrapassa a capacidade social de conter o problema ou de superar seus impactos negativos, configurando assim como um desastre natural.

Sabe-se que o clima tropical, caracterizado por verões chuvosos, é deflagrador de precipitações intensas no território brasileiro. Na região Sudeste do país, as chuvas acentuam-se expressivamente entre os meses de dezembro a março. Contando que no país encontram-se extensas planícies de agricultura, áreas de encosta em declive e regiões urbanas extremamente adensadas, pode-se prever que essa dinâmica meteorológica tende a agravar muito certos dos problemas sociais já existentes.

É de conhecimento geral a quantidade de problemas que as condições extremas de precipitação provocam em uma determinada região, sendo uma deles as enormes perdas que sofre o setor agrícola e, também, a propagação deste impacto a praticamente todas as componentes da atividade econômica (NERY; MARTINS, 1992, p.01).

Dessa forma, as chuvas intensas são conhecidas por estar relacionadas aos impactos ambientais que comumente as acompanham. Infelizmente, esses são os que mais afetam a população que habita as faixas tropicais do planeta. Nos centros urbanos, as enchentes tornam-se um problema em comum com as precipitações do verão, já nas regiões costeiras e litorâneas, os deslizamentos de terras acabam por prejudicar milhares de pessoas. Assim:

Silva *et al.*, (2003), chuvas extremas apresentam grande lâmina precipitada, durante curto intervalo de tempo. Por Cecílio *et al.* (2009), em geral, chuvas intensas são capazes de originar significativo escoamento superficial, possibilitando a geração de prejuízos agrícolas devido a

inundação de áreas cultivadas, poluição dos cursos hídricos, assim como intensificação de seu escoamento aliada a erosão do solo e desequilíbrio de nutrientes (BRITO *et al.*, 2012, p. 27).

Nas áreas urbanizadas, o processo de impermeabilização do solo causado pela presença do asfalto e a conseqüente retirada de vegetação, provoca o aumento da acumulação da água da chuva que tende a escoar com maior velocidade. Isso facilita as periódicas inundações verificadas nas cidades hoje em dia.

As enchentes provocam enormes prejuízos, tanto em vidas quanto econômicos, atingindo países em todo o mundo. No Brasil, em especial, as catástrofes naturais que ocorrem estão, em sua maioria, relacionadas à ocorrência de precipitação, sendo raros eventos como abalos sísmicos ou tornados. Devido ao seu regime climático, o país apresenta grande incidência de intensas chuvas no verão, atingindo milhares de pessoas (KOGA, 2005, p. 14).

Com isso, a realidade da interação entre esses fenômenos naturais, sociedade e impactos negativos, gera o chamado “desastre natural” que influencia diretamente na dinâmica do espaço geográfico.

Um desastre natural pode ser entendido como um desequilíbrio brusco e significativo no balanço interativo entre as forças compreendidas pelo sistema natural, contrariamente às forças do sistema social. A ocorrência de um desastre depende, nesta perspectiva, da interação dos extremos naturais e do sistema social (KOGA, 2005, p. 14).

Sobre o impacto do clima sobre a sociedade, Ayoade (2002, p. 288) afirma que:

O clima e as variações climáticas exercem grande influência sobre a sociedade. O impacto do clima e das variações climáticas sobre a sociedade pode ser positivo (benéfico ou desejável) ou negativo (maléfico ou indesejável). As sociedades têm muitas vezes visto o clima basicamente como um fator negativo e o têm negligenciado como recurso. Contudo, o clima é tanto um fator negativo como um recurso, dependendo do tempo e dos valores envolvidos nos parâmetros climáticos.

As precipitações intensas estão diretamente ligadas ao elemento meteorológico pela qual ocorre. Na estação quente do ano, a disponibilidade hídrica fornecida pela camada líquida existente na Terra, ocasiona elevação da taxa de umidade atmosférica que, por sua vez, favorecerá na formação de grandes nuvens.

A nuvem que caracteriza a ocorrência das chuvas intensas é a *cumulunimbus*, pois possui a capacidade de descarregar alto nível pluviométrico sobre a superfície terrestre.

Conforme Ayoade (1986) *apud* Anjos (2003) “A precipitação do tipo convectivo está associada a nuvens tipo cumulonimbus, sendo usualmente mais intensa, embora seja mais curta quanto à duração, acompanhada frequentemente de trovões”. “[...] Sua base pode situar-se entre 300 e 3.000 m, dependendo da umidade relativa do ar próximo ao solo. O fator favorável para o seu desenvolvimento é a presença de ar quente, úmido e instável. (CALBETE *et al.*, 1996).

Assim, a ocorrência das chuvas intensas relacionada à presença das cumulonimbus é de forte influência na caracterização climática de um local.

### 3.3 Erosividade Da Chuva

Dentre os elementos meteorológicos, a chuva é um dos principais fatores a se considerar na análise da erosão da superfície terrestre. Sendo um dos responsáveis pela geração e pela intensidade de processos erosivos.

“O potencial da chuva em causar erosão é um dos mais importantes fatores entre os diversos ligados à erosão e pode ser avaliado por meio de índices de erosividade que se baseiam nas características físicas das chuvas de cada região” (MELLO *et al.* 2007, p. 537).

A energia da chuva, no entanto difere de lugar para lugar e de uma chuva para outra, estando relacionada a diversas características físicas, como a energia cinética da gota, a intensidade, a frequência e a duração da chuva. Assim sendo, quanto maior o valor dessas variáveis, maior a probabilidade de ocorrência de erosão.

A erosividade da chuva define pela sua capacidade potencial em causar erosão através do impacto das gotas das águas pluviais na camada superficial do solo. A energia cinética empregada em tal processo é resultante, não apenas da intensidade, como também da duração e frequência dos episódios pluviais (SANTA'NNA NETO, [s.d], p. 36).

O equilíbrio ecológico que garante a manutenção da qualidade da água pode ser afetado por processos erosivos desencadeados por algum tipo de degradação ambiental, como desmatamento, assoreamento de rios, inundações, entre outros, afetando assim o processo em que se manifesta o ciclo de renovação da água.

O solo é um dos recursos naturais mais significativos para a humanidade, podendo ter sua capacidade produtiva comprometida pela degradação ocasionada pelo manejo inadequado e, conseqüentemente, pela erosão hídrica. Portanto, o conhecimento e a quantificação dos fatores que influenciam a erosão hídrica são fundamentais para o planejamento de uso e manejo do solo em bases conservacionista em uma região (CARVALHO, *et al.*, 2005, p.7).

De acordo com Arai, *et al.*, (2010), “[...] A determinação da intensidade de precipitação é importante para o controle de inundação e da erosão do solo”. Dessa forma, é importante conhecer a variabilidade pluviométrica das regiões para que possa ser feito o manejo de solo adequado para cada atividade.

Aspectos como enchentes e perda de solo interferem diretamente na sociedade, principalmente no fator econômico, na medida em que se tornam necessárias à utilização de novas práticas para conter ou reverter o problema.

Em vista disso, são relevantes os estudos que se propõem nessa relação, chuva e erosão hídrica, pois estes são fatores preponderantes na avaliação de impactos ambientais, além de servir de suporte às atividades ligadas ao solo.

No meio rural, as perdas de solo por erosão prejudicam atividades agropecuárias.

A erosão é a principal razão pelas quais os solos agrícolas perdem sua capacidade produtiva. A retirada da vegetação nativa de uma determinada área provoca um rompimento, efêmero ou definitivo, no equilíbrio natural existente entre o solo e o meio ambiente. Via de regra, a utilização do solo para fins agrícolas inicia com a retirada da vegetação nativa deixando o solo exposto, propiciando erosão provocada pela água da chuva, denominada erosão hídrica (CABRAL *et al.*, 2007, p. 49).

Naturalmente, o solo agrícola caracteriza-se por apresentar alta susceptibilidade à ocorrência de erosão, visto que o período de preparo e semeadura do solo coincide com o período de elevadas taxas de chuvas onvectivas.

O processo de erosão será acelerado caso ocorra práticas inadequadas de manejo do solo em atividades agrícolas, deixando o solo muito mais vulnerável ao impacto da chuva.

Assim, solo revolvido é mais facilmente levado pela enxurrada devido ao aumento no seu nível de encharcamento. Com isso, o solo fica mais pesado e auxiliado pela declividade do terreno, as possibilidades dos horizontes superficiais do solo ser levado serão maiores.

De acordo com Freire *et al.*, (1991) a erosividade da chuva em um determinado local é o fator que responde por cerca de noventa por cento das variações da quantidade de solo perdido por erosão.

Cogo *et al.*, (2003, p. 01) confirma que “A quantificação dos valores dos parâmetros dos agentes causadores da erosão é importante para estabelecer programas de controle de erosão e de fundamental importância para o desenvolvimento de uma agricultura estável [...]”.

O Sudeste brasileiro localiza-se em uma área atingida por intensas precipitações pluviais. Essa ação combinada à ausência de cobertura vegetal potencializa a ação dos processos erosivos e aceleram a velocidade de seu empobrecimento.

“Através do estudo da erosividade da chuva é possível expressar a potencialidade de solo se perder em relação aos impactos provenientes da chuva. O fator R é um índice numérico que expressa à capacidade da chuva, esperada em dada localidade, de causar erosão em uma área sem proteção” (BERTONI; LOMBARDI NETO, 2012 p. 250).

A capacidade das chuvas em provocar erosão pode ser quantificada e expressa como um índice de erosividade das chuvas. Por causa da grande variação na intensidade das chuvas a cada ano, o valor médio da erosividade das chuvas deve ser calculado com base na erosividade anual de um período longo, pelo menos com base em 20 anos de dados. O conhecimento da erosividade das chuvas é fator fundamental nos estudos

sobre erosão do solo, além de fornecer subsídios importantes em relação à época mais adequada para os trabalhos de preparo do solo (COGO *et al.*, 2003, p.01).

De acordo com Vieira e Lombardi Neto (1995, p. 406) “[...] estimativas de perda de solo podem servir como guia na seleção de sistemas de cultivo e práticas de conservação do solo em geral”. Para isso, através do estudo da erosividade, fator R da equação EUPS (Equação Universal de Perda de Solo), poderá ter-se um bom parâmetro dessas perdas de solo quando decorrentes da influência da chuva.

O fator R é o índice que expressa essa capacidade da chuva de provocar erosão em uma área sem proteção. Através da EUPS obtém-se a estimativa média anual de perdas de solo, onde o fator chuva é o agente ativo no processo de erosão hídrica, pois provoca a desagregação e o transporte das partículas do solo.

Segundo Wischemeier e Smith (1965) citado por Carvalho e Hernani (2001, p.138):

A equação universal de perdas de solo relaciona os principais fatores que influenciam a erosão acelerada do solo, a saber: a erosividade da chuva, erodibilidade do solo, comprimento e grau de inclinação do terreno, cobertura vegetal e manejo da cultura e práticas conservacionista. Sua utilização tem o objetivo de predizer as perdas médias anuais de solo que poderão ocorrer em determinado local sob uso agrícola.

Bertoni e Lombardi Neto (2012, p. 248) reitera que “[...] o uso de equações empíricas para avaliar as perdas de solo de uma área cultivada vem se tornando prática indispensável para o planejador conservacionista”. O índice de erosão, EI30, antes obtido através cálculos morosos, pode ser requerido hoje por um método que relaciona o índice médio mensal de erosão e o coeficiente chuva a partir dos dados de precipitação média mensal e anual numa dada localidade, que tenha um número de registros necessários.

Além disso, Wischmeier e Smith (1958) *apud* Lombardi Neto e Moldenhauer (1992, p. 189) verificaram que:

[...] quando todos os outros fatores, com exceção da chuva, são mantidos constantes, a perda de solo por unidade de área de um terreno desprotegido de vegetação é diretamente proporcional ao produto das duas características da chuva: energia cinética multiplicada por sua intensidade em 30 minutos.

Esses aspectos são função do solo, declividade e características de chuva. Então se os dois primeiros fatores se mantiverem constantes, o potencial erosivo de uma chuva relaciona-se a energia cinética da chuva e a intensidade dessa chuva em 30 minutos.

### **3.4 Software R – Subrotina *Climatol***

O *software* R consiste em uma ferramenta importante para análise e manipulação de dados, principalmente no que se refere à estatística. Neste trabalho, o programa foi

utilizado diversas vezes para funções diferenciadas. Além de ser um *software* livre, aceita modificações de seus usuários de maneira a implementar novos procedimentos de análise, melhorando ainda mais a eficiência do ambiente R.

O uso de pacotes estatísticos para análise de dados é de grande importância no que se refere à análise e interpretação de resultados. Contudo, observa-se que esses apresentam um custo de aquisição relativamente elevado. Atualmente, é grande a procura e também o incentivo ao uso dos chamados *softwares* livres (PETERNELLI, L. A., 2007, p. 15).

O ambiente R é capaz de gerar uma série de gráficos. “Um grande atributo do R é a sua capacidade de interagir com outros programas estatísticos e com aqueles de banco de dados”, (PETERNELLI, 2007, p. 16). No estudo em questão, trabalhou-se com uma extensa base de dados, pelas quais são subdivididas em mais de 30 séries temporais. Dessa forma, trabalhar com o *software* R foi imprescindível para que a manipulação desses dados não sofresse prejuízo, pois o processamento de dados realizado pelo programa gera dados de saída automaticamente, facilitando o estudo tanto na precisão dos resultados, quanto economia de tempo de trabalho.

As estações meteorológicas não registram somente a variação do tempo local, pois a maioria de suas medições é afetada por alguns problemas. Dessa forma, os dados pluviométricos, por exemplo, apresentam muitas falhas em suas séries, prejudicando assim as análises climatológicas.

“A precipitação é a variável climatológica mais importante nos trópicos. Apesar da simplicidade de sua medida, é uma das variáveis mais difíceis de serem observadas com acurácia, uma vez que apresenta erros (instrumental, de exposição e de localização, por exemplo), (MOLION; BERNARDO, 2002 p. 1334).

As principais causas de heterogeneidade da precipitação são segundo Nery (1997, p. 7): ... modificação do meio circundante ao local da medição, erros devido ao instrumento, como por exemplo, defeitos de calibração, erros de medição ou de gravação, erros de transmissão e até mesmo erro de arquivo e publicação.

“As diversas causas de heterogeneidade e suas consequências demonstram a necessidade de controlar, de maneira rigorosa, os dados pluviométricos, controle este que poderia ser feito consultando o histórico da estação” (NERY, 1997, p. 7).

Com isso, o “*Climatol*”, subrotina do *software* R, pacote estatístico livre e de fácil manejo, foi utilizado para preencher os dados ausentes e detectar comportamentos anômalos, produzidos por causas não meteorológicas.

Nessa subrotina foi desenvolvido um conjunto de funções focadas no tratamento das séries de dados mensais. Através da metodologia proposta por Guijarro (2006), este tratamento consiste em comparar cada uma das séries com uma série de referência

construída para ela a partir das demais, utilizando a distância entre as estações como principal critério de correlação, além de deter um mesmo espaço temporal.

Assim, homogeneização dos dados pluviométricos possibilita identificar uma ligeira modificação nos dados das séries. Pode-se perceber que os ajustes são capazes de suavizar possíveis variações abruptas, não concernentes a variação natural das séries analisadas.

O *software Climatol*, segue certas etapas para o ajuste estatístico das séries de dados. Primeiramente é preciso preparar os dados em dois arquivos de texto simples com formatos adequados. No primeiro arquivo se encontra os dados mensais organizados cronologicamente, estação por estação, especificando os dados ausentes com NA. Para esse arquivo dá-se o nome “Chuv\_1974-2010.dat”.

No outro arquivo haverá as coordenadas geográficas, a altura e o nome das três séries ou mais escolhidas, no qual terá o nome de “Chuv\_1974-2010.est”. Como o exemplo a seguir:

49.56	22.47	480	S34	"2249028"
50.01	22.53	380	S35	"2250024"
50.18	22.49	370	S36	"2250037"

Após esse processo, o programa irá gerar gráficos mostrando os ajustes feitos nas séries climatológicas, preenchendo até mesmo os dados ausentes. Com isso, essas séries estarão aptas a serem exploradas para uma análise meteorológica mais confiável.

A homogeneização da base de dados é realizada de modo iterativo, buscando e eliminado, primeiro as heterogeneidades maiores e refinando o processo passo a passo, de modo que os erros se diluam entre um conjunto grande de séries, diminuindo progressivamente, a fim de preservar as peculiaridades da climatologia da região de estudo.

De acordo com Guijarro (2006), a metodologia utilizada pelo programa [...] tem a ver com a enorme variedade de ensaios estatísticos e representações gráficas do próprio pacote R e de uma simples, porém potente linguagem de programação para desenvolver novas funcionalidades.

Torres (2007) *apud* Santos; Galvncio; Moura (2008, p. 16) destaca que “ [...] a homogeneização das informações pluviométricas através da análise de agrupamento voltada para regionalização destes dados é uma das mais bem sucedida aplicação estatística para suprir faltas de dados pluviométricos em uma bacia hidrográfica”.

### 3.5 Estudo das probabilidades

Com base na Hidrologia Estatística, foram realizados alguns estudos na perspectiva de identificar certos aspectos característicos das chuvas de maiores intensidades dentro da área de estudo.

O período de retorno e a probabilidade de ocorrência dos valores extremos pluviométricos foram estudados como uma forma de extrair informações significativas sobre as chuvas de maiores intensidades, podendo servir de auxílio a previsões climáticas.

Além disso, através dos resultados preliminares obtidos a partir dessa etapa, obtém-se a ferramenta básica para prevenção de impactos negativos que as chuvas intensas podem causar, tanto na área urbana como rural, assim como ser importante no planejamento de obras de longo prazo.

“A precipitação pluviométrica pode ser prevista em termos probabilísticos, mediante modelos teóricos de distribuição, combinados a uma série de dados” (MOREIRA *et al.*, 2010, p.10).

A distribuição de probabilidades associa uma probabilidade a cada resultado numérico de um experimento, ou seja, dá a probabilidade de cada valor de uma variável aleatória. Por exemplo, no lançamento de um dado cada face tem a mesma probabilidade de ocorrência que é  $1/6$ . (REBOITA, 2005, p.05)

As distribuições teóricas de probabilidades, são de fundamental aplicação para se conhecer mais sobre o comportamento das chuvas. Nesse caso, de precipitações máximas, é importante que seja realizadas estimativas de previsão das chuvas para atenuar de futuros desastres.

O estudo de probabilidades fornece informações uteis sobre a chance de um determinado evento extremo ocorrer novamente em um curto espaço de tempo. Berlato *et al.* (2000), afirmaram que para a agricultura, o conhecimento dos valores normais dos elementos meteorológicos é a utilização e o conhecimento de estudos de probabilidades baseadas em eventos de chuvas intensas (AMORIN, 2002, p.73).

“Essas distribuições, entre outras aplicações, são bastante utilizadas para o cálculo de chuvas máximas. Entretanto, não há teoria suficientemente firme para justificar o uso de uma ou de outra distribuição” (BACK, 2001, p. 212).

O uso de funções de densidade de probabilidade está diretamente ligado a natureza dos dados a que ela se relaciona. Algumas têm boa capacidade de estimação para um pequeno número de dados, outras requerem grandes séries de observações. Devido ao número de parâmetros de sua equação, algumas podem assumir diferentes formas, enquadrando-se em um número maior de situações, ou seja, são mais flexíveis (CATALUNHA *et al.*, 2002, p.02).

Período de retorno (T) é o período de tempo médio que um determinado evento hidrológico é igualado ou superado pelo menos uma vez. (PEDRAZZI, [s.d], p. 1). É o tempo em que um evento climatológico leva para acontecer novamente em um dado período. Existe uma relação entre o período de retorno e probabilidade de ocorrência (P), ambas são equivalentes e podem ser estimado da seguinte forma:

$$T = 1/P$$

Sendo que T é período de retorno, convencionalmente dado em anos e P, probabilidade, dado em porcentagem.

Sabe-se que as variáveis climatológicas, como exemplo a precipitação, sofrem muitas variações ao longo do tempo e ocorrem de maneira irregular. Em vista disso, cabe um estudo que vise estipular certos padrões de ocorrência ao longo do tempo. Assim através das distribuições de probabilidade pode-se prever um modelo para variação das chuvas em relação a sua quantidade e tempo.

Os eventos hidrológicos seguem algum tipo de distribuição teórica de probabilidade assim, é possível demonstrar que, os dados observados no passado de uma dada variável hidrológica, seguem alguma distribuição teórica de probabilidade e as características conhecidas podem ser usadas para estimar a probabilidade de ocorrência de um evento para tal magnitude (GOULART, 1991; DAMÉ, 1995 *apud* DAMÉ et al., 1996, p. 352).

No estudo de chuvas intensas são escolhidas algumas funções de distribuição de probabilidades que na Hidrologia apresentam diferentes metodologias para serem aplicadas. Ambas as distribuições utilizadas nesse estudo estão embasada na fórmula geral proposta por Ven Te Chow. Nesta fórmula a variável de interesse (vazão, chuva, etc.) é expressa em função da média, do desvio padrão e do fator de frequência  $K_T$ , conforme mostrado abaixo (PEDRAZZI, [s.d.], p.4):

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot S_X$$

Onde:

$X_T$  - variável de interesse (vazão, chuva, etc.) para o período de retorno T;

$\bar{X}$  - média amostral;

$S$  - desvio padrão amostral;

$K_T$  - fator de frequência, tabelado conforme a Distribuição de Probabilidades em função do período de retorno T (ANEXO).

Em 1951, Ven te Chow, mostrou que a maioria das funções de frequência empregadas em análises hidrológicas pode ser resolvida por meio de equações desse tipo” (GARCEZ, 1988, *apud* TEIXEIRA, 2010). Afirma ainda que “[...] a maioria das funções de probabilidade, aplicáveis à Hidrologia, visando associar valor (magnitude) da variável à

probabilidade de sua ocorrência, pode ser representada por essa equação” (TEIXEIRA, 2010, p. 71). A partir disso, as distribuições teóricas de probabilidade, que por sua vez aplicam a equação de Ven te Chow, Log-normal, Log-Pearson tipo III e Gumbel, foram utilizadas para a análise estatística.

Nem todos os eventos hidrológicos obedecem à distribuição normal. Alguns deles se ajustam segundo uma distribuição denominada Log-Normal (PEDRAZZI, [s.d]). Essa distribuição é descrita basicamente pela equação de Ven Te Chow relacionada à cálculos de logaritmo. Atende a estudos de vazões máximas, além de ser aplicado tanto a valores originais quanto a máxima e estimativa de precipitação provável (TEIXEIRA, 2010, p. 71).

“Na distribuição Log-Pearson tipo III, a vazão (ou chuva) máxima é calculada da mesma forma que a distribuição Log-Normal. A única diferença está na determinação do fator de frequência  $K_T$ , pois na distribuição Log-Pearson III leva-se também em consideração o coeficiente de assimetria” (PEDRAZZI, [s.d.], p.8).

A distribuição Log-normal é semelhante a de Log-Person tipo III. A distinção está na definição do coeficiente de assimetria (G) utilizado para determinação do fator de frequência  $K_T$  utilizado na equação de Ven Te Chow. Na log-Pearson tipo III é preciso determinar G através de uma equação, já na Log-normal o G é igual à zero.

A distribuição Gumbel é de grande aplicação para o estudo de eventos extremos e tem sido muito utilizada de forma generalizada no estudo de chuvas intensas (BACK, 2001). É também conhecida como método dos eventos extremos, aplicada em séries anuais.

Eltz *et al.*, (1992) utilizaram a função extrema do tipo I, também conhecida como função Gumbel, para determinar o período de retorno de chuvas para a região de Santa Maria, RS, com base em 27 anos de dados registrados na localidade de Boca do Monte. Essa função de distribuição foi escolhida porque se utilizaram dados máximos anuais de intensidade de precipitação (SILVA *et al.*, 2007, p. 68).

Outra função de probabilidade também utilizada para fins de comparação nesse estudo, foi a *GEV* (do inglês “*generalized extreme values*”), introduzida por Jenkinson (1955) (TEIXEIRA, 2010).

A distribuição *GEV* tem sido utilizada com grande frequência em estudos de fenômenos ambientais principalmente para solucionar problemas relacionados a áreas de Engenharia, entre os quais, velocidades máximas de ventos, temperaturas máximas e mínimas e em estudos de precipitação pluvial máxima. Desde 1975, a *Natural Enviromental Research Council* (NERC) recomenda a distribuição *GEV* para a análise de freqüências de enchentes no Reino (MARTINS; STEDINGER, 2000 *apud* BEIJO; AVELAR, 2011, p. 11).

“Essa distribuição é de suma importância para modelagem de dados climáticos extremos e modela de forma adequada os dados de precipitações máximas para a área de estudo” (BEIJO; AVELAR, 2011, p.10).

A maneira de caracterizar a variabilidade da precipitação pluvial é analisar a distribuição dessa variável. Para tanto, são necessários uma análise de distribuição e testes estatísticos para determinar qual função de distribuição de probabilidade é a mais adequada para calcular a probabilidade de ocorrer determinado fenômeno (SILVA *et al.*, 2007, p. 68).

Através dos parâmetros de determinação em cada função foi possível chegar aos resultados para os respectivos tempos de retorno e assim fazer a comparação de resultados entre as equações.

Para cada uma das funções obteve-se resultados distintos, com isso tornou-se necessário à realização de um teste para verificação de qual das distribuições se ajustam melhor a tal conjunto de dados.

Para a aplicação de uma distribuição de probabilidades é indispensável analisar se a mesma representa adequadamente a relação funcional entre os valores do evento e as respectivas frequências de ocorrência dos mesmos. Para isso, há a necessidade de se comprovar previamente se a distribuição é adequada para a série histórica a ser trabalhada. A comprovação é feita com base em métodos estatísticos não paramétricos, os quais, na sequência, serão apresentados de forma mais detalhada aqueles mais usuais em hidrologia, sendo que também são conhecidos como Teste de Aderência Estatística (TEIXEIRA, 2010, p. 73).

“Entende-se por ajuste, a aproximação entre as frequências observadas e esperadas por cada função, ajustes estes que são dados pelos testes de aderência” (ARAUJO *et al.*, 2010, p 108). De acordo com Catalunha (2002, p.14.), “O teste de aderência pode ser visto como uma maneira de comprovar a hipótese de que a distribuição pode representar adequadamente aquele conjunto de informações”.

O ajuste de modelos probabilísticos aos dados diários de chuva, além de fornecer um resumo sucinto desses dados, representa uma técnica eficiente para análise dessas informações. Cada distribuição de frequência apresenta certa forma, que pode ser aproximada através da utilização de equações de densidade probabilidade com alguns parâmetros extraídos da amostra em questão. A utilização ou não de uma distribuição, reside na capacidade da mesma em estimar os dados observados, com base em seus parâmetros, e esta capacidade é medida através de teste de aderência (ALMEIDA, 1995 *apud* CATALUNHA, 2002, p. 11).

Nesse sentido, “O teste de Kolmogorov-Smirnov é bastante utilizado para análise de aderências de distribuições em estudos climáticos” (CATALUNHA, 2002, p.11). Como uma técnica estatística mais objetiva, foi eficiente para se verificar o ajustamento das séries de dados a cada uma das três distribuições de probabilidade.

“É comum o uso de testes não paramétricos para o ajuste de distribuições de probabilidade, o Teste de Kolmogorov-Smirnov e Qui – Quadrado ( $X^2$ ) são bastante utilizados para análise de conjunto de dados” (CATALUNHA, 2002, p.11). Segundo Miller e Freund (1965) *apud* Rosal e Montenegro (2011, p. 06):

O teste de Kolmogorov –Smirnov é mais eficiente que o  $X^2$  para testar o ajuste de pequenas amostras e pode ser aplicado em caso de amostras muito pequenas onde o teste  $X^2$  não se aplica. Outra vantagem do teste de Kolmogorov-Smirnov, em relação ao teste  $X^2$ , é o fato de não ter que fazer agrupamento de dados em classes e a maior facilidade para o cálculo.

“O Teste de Kolmogorov-Smirnov é inteiramente qualitativo, significando que o mesmo permite apenas a conclusão de que a distribuição de probabilidades é adequada ou não, não havendo embasamento suficiente para se concluir a respeito da precisão e comparação entre distribuições distintas” (TEIXEIRA, 2010, p. 73).

O *software Easyfit 5.5 Standart* foi utilizado para realização do Teste de Kolmogorov-Smirnov. Nesse programa, o teste de adequação (*Godness of fit tests*), serve para medir a compatibilidade de uma amostra aleatória com a função de distribuição de probabilidade teórica, demonstrando assim o quanto a distribuição em questão se ajusta a série de dados.

EasyFit allows to automatically or manually fit a large number of distributions to your data and select the best model in seconds. It can be used as a stand-alone application or with Microsoft Excel, enabling you to solve a wide range of business problems with only a basic knowledge of statistics (MATHWAVE, 2014).

O *Easyfit* pode ser utilizado por profissionais de diversas áreas, principalmente aqueles que necessitam de técnicas estatísticas de análise. Esse *software* pode ser obtido gratuitamente através do site [www.mathwave.com](http://www.mathwave.com) e instalado com facilidade em qualquer computador. Além da qualidade de seus resultados, é de simples manejo e os resultados são gerados instantaneamente após a inserção dos dados e aplicação dos comandos. Nesse *site* inclui uma série recursos e tutoriais que podem auxiliar o usuário principiante a lidar com programa e executar suas ferramentas.

Dentre as inúmeras funções do *software Easyfit*, o comando utilizado para efetuação do teste de aderência foi *Godness of Fit Tests*. Essa ferramenta permite distinguir o melhor ajustamento entre uma série de funções de probabilidade para o conjunto de dados selecionados. Através dele, os resultados são gerados por gráficos e tabelas, de acordo com o método estatístico desejado.

The results are displayed as interactive reports allowing to compare the fitted distributions. The Summary report lists the distributions ordered by the GOF statistics, enabling you to select one or more models which best fit to your data. The Details report provides additional information on a particular distribution, helping you decide whether this distribution is an

appropriate model, given the confidence level chosen, (MATHWAVE, 2014).

Com isso, o programa fornece uma tabela com o ranking das distribuições que apresentaram um melhor ajuste aos dados utilizados.

EasyFit is the best commercially available software available to help in fitting data to probability distributions. It is fast and accurate, easy to use and for the price it can't be beat. The company is very responsive to any queries. I would recommend this software without reservation, (MENSE, ALLAN, [s.d.] *apud* MATHWAVE, 2014).

### 3.6 Área de estudo

O aspecto fundamental em se ter um bacia hidrográfica como unidade de gestão está correlacionado ao aspecto delimitador formado pela hierarquização dos corpos hídricos, que por sua vez, abordam diversos aspectos de um ecossistema.

A bacia hidrográfica, entendida como célula básica de análise ambiental, permite conhecer e avaliar seus diversos componentes e os processos e interações que nela ocorrem. A visão sistêmica e integrada do ambiente está implícita na adoção desta unidade fundamental (BOTELHO; SILVA, 2004 *apud* BALDO, 2000, p. 02).

Essa delimitação natural facilita na demarcação física da bacia hidrográfica, favorecendo a um tipo de gestão integrada que abarca tanto as questões relacionadas a esse meio ambiente, quanto às características sócio-espaciais existentes.

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

Uma bacia hidrográfica é formada por rios e córregos de diferentes ordens, pelos quais seguirão para um canal comum que conseqüentemente levará ao nome dessa bacia. Esses rios são caracterizados por aspectos diferenciados determinados pelos locais por onde percorre. Assim, uma bacia hidrográfica, apesar de ser uma unidade de gestão integradora, deve-se considerar a multiplicidade de variações que cada região possui, relacionado às dinâmicas naturais.

Essas variações estão relacionadas, no primeiro momento, aos aspectos físicos formadores da bacia, a geologia determinadora do material de origem que, por sua vez, caracteriza pedologicamente as questões norteadoras sobre o canal e as margens dos rios. Junto a isso o aspecto climático é imprescindível ao se analisar a biodiversidade, a vegetação e principalmente a pluviometria que será determinante na vazão desse rio.

Dessa forma uma bacia hidrográfica pode ser ainda:

[...] frequentemente utilizada como referencial geográfico para a adoção de práticas de planejamento ou de manejo e aproveitamento de recursos naturais. Dada a grande importância da água como via de circulação para transporte, para a geração de energia elétrica, como fonte de abastecimento urbano e industrial e caminho para a diluição efluente doméstica e industrial, a bacia hidrográfica tem se transformado em uma unidade básica para o planejamento e gestão ambiental (PARIZOTTO, 2008, p. 21)

Empregar a bacia hidrográfica como objeto de pesquisa, significa poder correlacionar fatores de distintas áreas de estudo, como importantes influenciadores na dinâmica de um ecossistema geográfico. Assim há a possibilidade de abranger áreas de estudo como Geomorfologia, Climatologia, Pedologia, além de prever aspectos sociais e econômicos em um mesmo espaço.

Um dos objetivos mais importantes de uma gestão descentralizada é auxiliar o planejamento e a utilização integrada dos recursos hídricos para um uso mais sustentável (Moraes 2012).

Na constituição do estado de São Paulo, a temática dos recursos hídricos conduz para a gestão descentralizada, participativa e integrada em relação às peculiaridades das bacias hidrográficas. A partir da Lei Estadual 7663, promulgada em 1991, instituiu a Política de Recursos Hídricos. A Lei Estadual 9.034, do ano de 1994, aprovou o Plano Estadual de Recursos Hídricos e propôs a divisão do Estado de São Paulo em 22 Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos – UGRHI. Atualmente o estado conta com 21 Comitês de bacias hidrográficas (CBHs) legalmente constituído (AZEVEDO, *et al.* 2007, p.2).

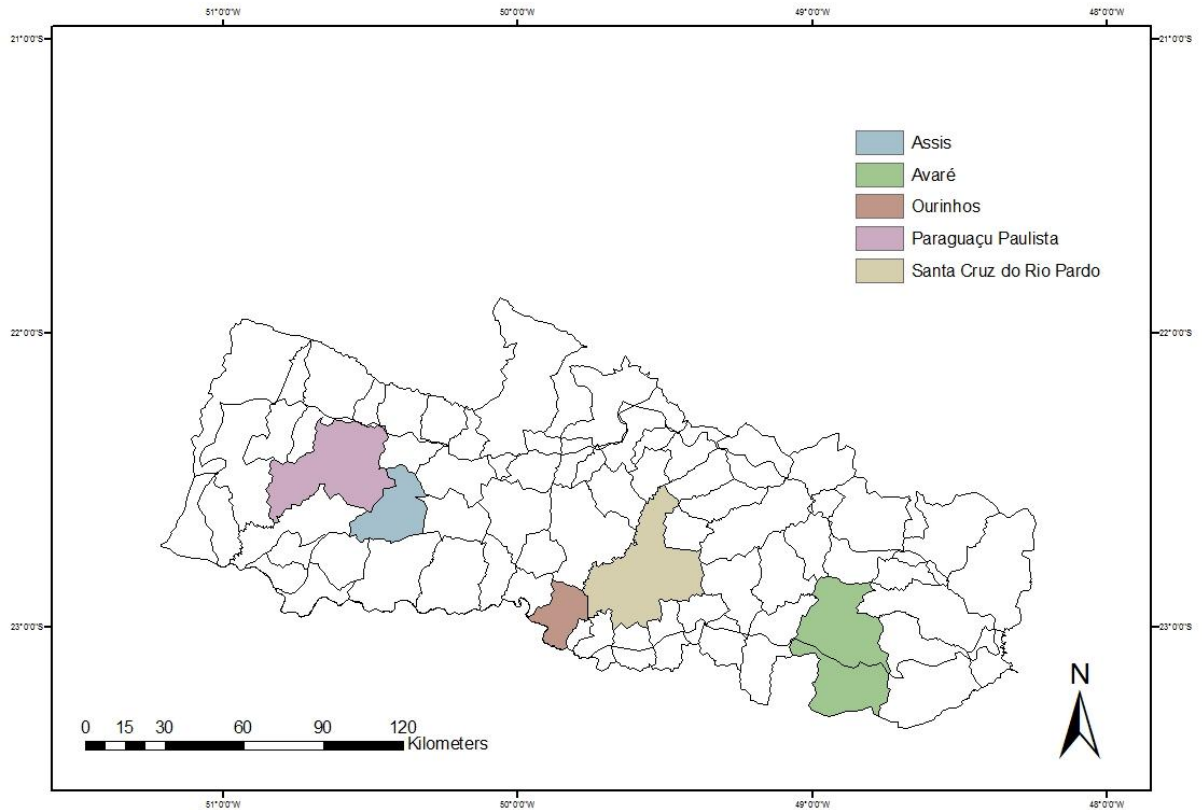
Diversos estudos foram elaborados tendo como base em bacias hidrográficas e Unidade de Gerenciamento, como exemplo, Silva; Nery (2014), Moraes (2009), Parizotto (2008), Malvestio (2008). Esses estudos quando voltados a análises pluviométricas tendem a determinar a variabilidade espacial e temporal do regime hidrológico, relacionar com aspectos do relevo além de considerar, na maioria dos casos, as questões norteadoras sobre os aspectos sociais e econômicos da região, como desastres ecológicos e impactos à população.

A bacia hidrográfica do Médio Paranapanema representada pela Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos (UGRHI-17) está localizada na região Centro-Oeste do estado de São Paulo. Conforme o Comitê da Bacia Hidrográfica Rio Paranapanema (CBH-MP), a UGRHI-17 ocupa área de 16.749 km<sup>2</sup>, contando 42 municípios participantes, com área total ou parcial no interior da Unidade.

A Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema está entre as 22 unidades do estado de São Paulo com uma população estimada de 663.899 habitantes (CBH-MP).

Encontra-se os seguintes adensamentos populacionais: Ourinhos (106.521 habitantes), Assis (97.330 habitantes), Avaré (89.428 habitantes), Santa Cruz do Rio Pardo (44.674 habitantes) e Paraguaçu Paulista (44.307 habitantes), (Figura 1).

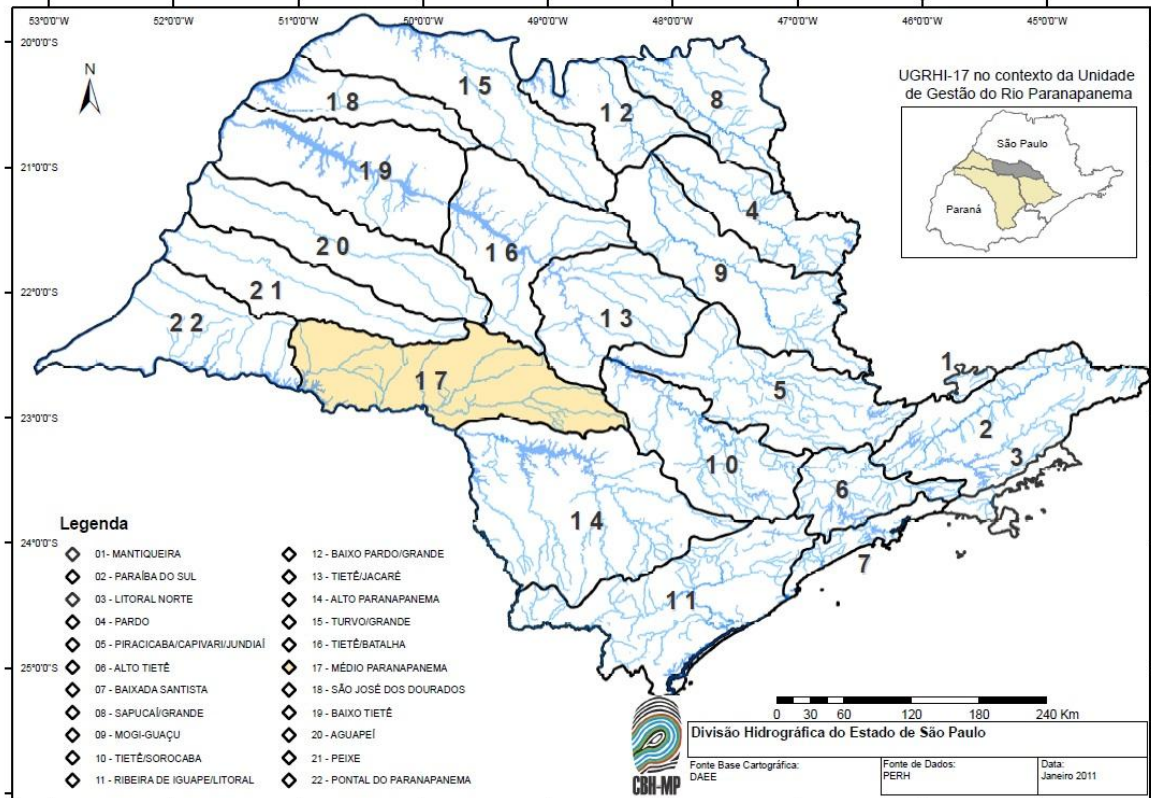
Figura 1 - Municípios com adensamentos populacionais pertencentes à UGRHI-17.



Elaboração: O autor, 2014.

Segundo o Plano de Bacia do Médio Paranapanema de 2007, os limites fisiográficos são: estado do Paraná e UGRHI-14 (Alto do Paranapanema), ao sul; UGRHI-22 (Pontal do Paranapanema) a oeste; UGRHI-21 (Aguapeí), UGRHI-20 (Peixe), UGRHI-16 (Tietê-Batalha) e UGRHI-13 (Tietê-Sorocaba), a norte e a leste UGRHI-10 (Tietê-Sorocaba), Figura 2.

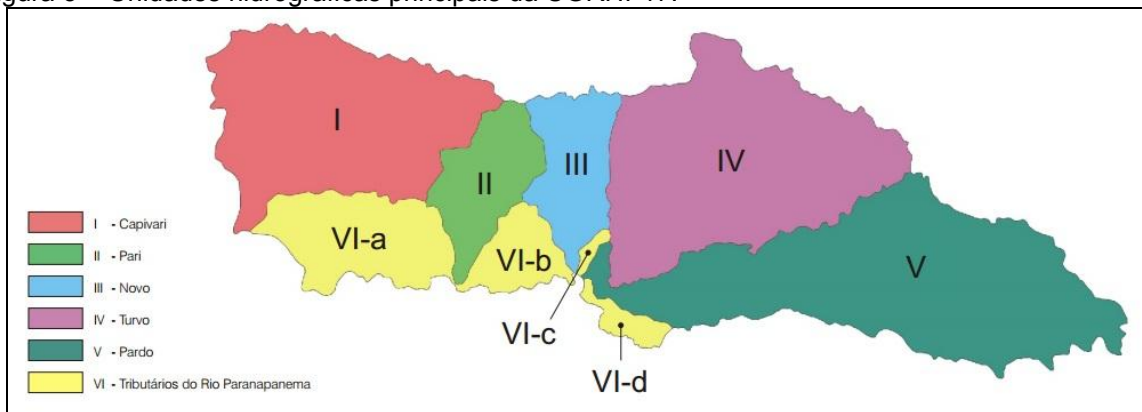
Figura 2 - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema no estado de São Paulo e as demais Unidades.



Fonte: CBH-MP, 2014. <<http://cbhmp.org/ugrhi-17/>>

A UGRHI-17 pertence à bacia do rio Paraná. Ela pode ser dividida em seis unidades hidrográficas: Pardo, Turvo, Novo, Pari, Capivara e os tributários de até 3º ordem do Paranapanema.

Figura 3 - Unidades hidrográficas principais da UGRHI-17.

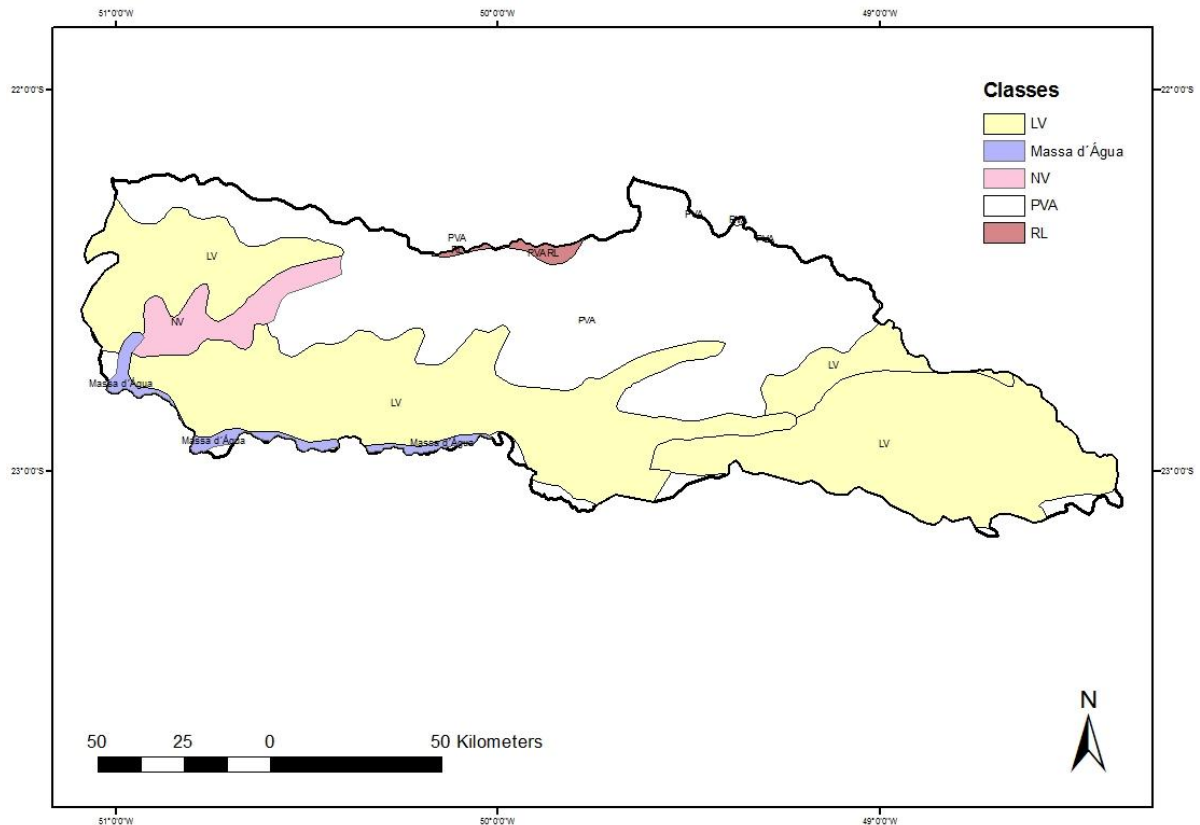


Fonte: Plano de Bacia da UGRHI17, 2007.

A UGRHI-17 tem sua formação geológica constituída por rochas sedimentares e ígneas da bacia do Paraná e depósitos sedimentares recentes. Estas duas unidades formam os dois principais aquíferos acessíveis da região: o Bauru e o Serra Geral.

Sobre os aspectos da pedologia, encontram-se solos arenosos nas áreas de nascentes localizadas na região Norte da bacia que serão, por consequência, mais susceptíveis ao risco de erosão. Na porção sul da bacia, é possível verificar solos argilosos férteis que são favoráveis à agricultura, conforme a Figura 4.

Figura 4 -Mapa das classes de solo da UGRHI-17.

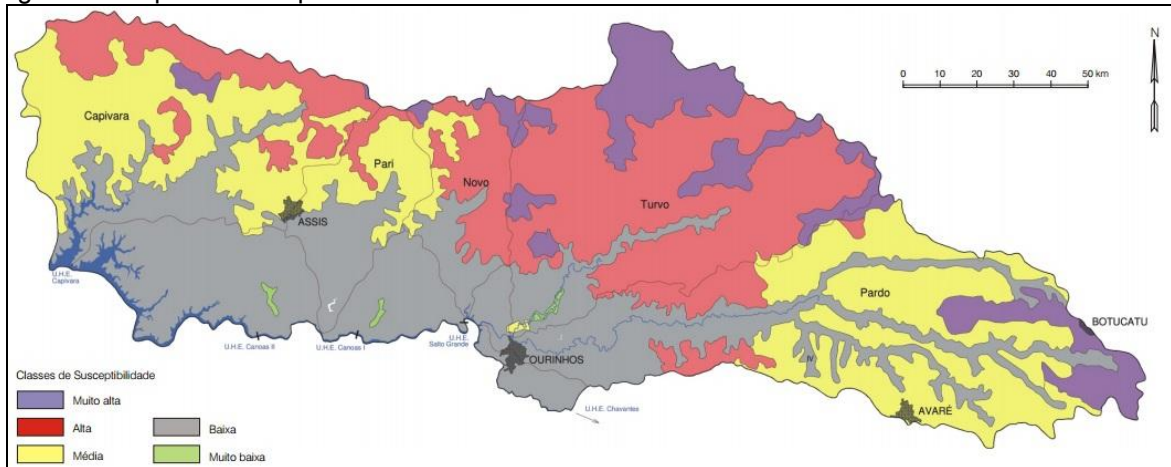


Elaboração: O autor, 2014.

Conforme a EMBRAPA (2014), o latossolo vermelho (LV) é um solo que contém alto teor de óxido de ferro, é profundo e poroso. Localizado na porção sul da Unidade, favorece ao cultivo agrícola como atividade econômica. Na área nórdica, encontra-se o Argissolo-vermelho-amarelo (PVA), desenvolvido sobre rochas cristalinas, possui baixa fertilidade natural, mas pode ser utilizado para cultura de cana de açúcar e para uso de pastagens. (Figura 4).

Segundo o caderno síntese do plano de bacias do Médio Paranapanema, através de estudos realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT, 1987), foram identificadas cinco categorias de susceptibilidade a ocorrência de erosão na Unidade, com destaque de maior vulnerabilidade na região Centro-Norte (Figura 5). Por conta disso, o CPTI, Cooperativa de Serviços e Pesquisas Tecnológicas (1999), identificou 993 ocorrências de erosões, das quais 275 rurais e 18 urbanas e 274 casos de assoreamento em corpos d'água.

Figura 5 - Mapa de susceptibilidade á erosão na UGRHI-17.



Fonte: Plano de Bacia da UGRHI17, 2007.  
Organizador: O autor, 2014.

A combinação dessas características físico-naturais contribui para o desenvolvimento das atividades agropecuárias, as quais atualmente impulsionam a economia regional. Praticadas desde latifúndios até em propriedades familiares. Tais atividades representam grande parte do uso do solo e caracterizam a existência de um diversificado Complexo Agroindustrial (CAI), responsável pela produção, transformação e comercialização dos produtos agropecuários (CBH-MP, 2014).

As atividades que mais se destacam quanto ao uso e ocupação do solo são predominantemente as pastagens, seguidas de culturas temporárias. As principais indústrias são: sucro-alcooleira, seguidas de curtumes, frigoríficas e demais alimentícias, inclusive as fecularias. Quanto à silvicultura, destacam-se municípios da porção leste da UGRHI-17, como Itatinga, Iaras, Avaré e Águas de Santa Bárbara (CPTI, 1999; CETESB 2006).

A caracterização climática da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema, segundo a classificação de Strahler, "Se enquadra no grupo dos climas controlados pelas massas de ar tropical e polar em permanente interação (II Grupo) e no subgrupo do clima Subtropical Úmido das costas ocidentais e subtropicais, dominadas largamente pela massa tropical marítima (Tm), (CBH-MP, Relatório Zero, 2000).

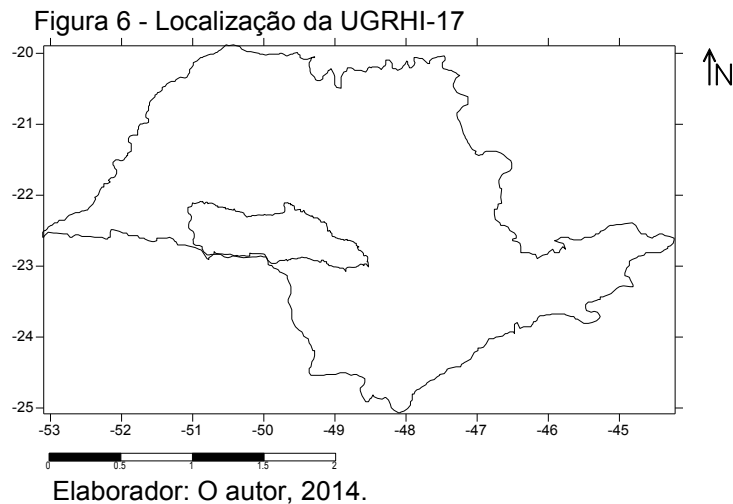
Pode-se observar que a área de estudo sofre a influência de diversas massas de ar, ao longo do ano, tendo um clima complexo. Por estar próximo ao Trópico de Capricórnio agrega a essa complexidade uma dinâmica bem diferenciada para a região sudoeste do estado de São Paulo.

Assim, é verificada a complexa configuração da UGRHI-17 entre seus fatores físico-naturais relacionados aos socioeconômicos, fato esses que serão amplamente interferidos pela dinâmica das chuvas nessa região.

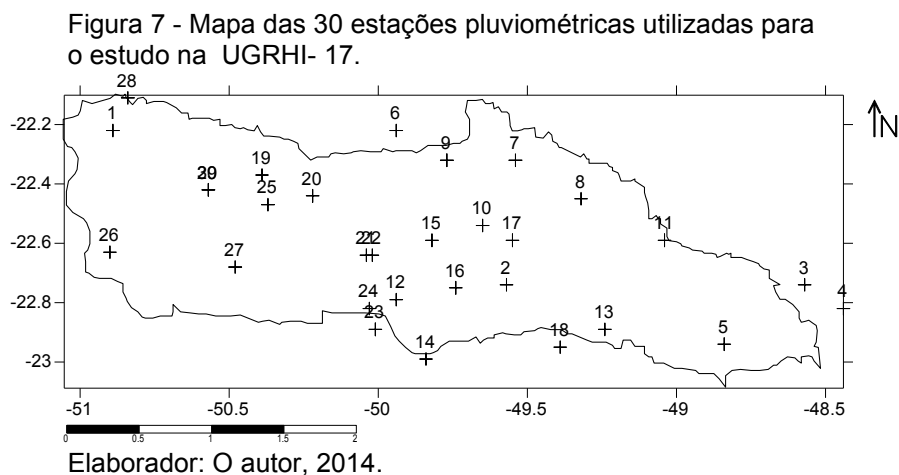
## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Fonte dedados

Foram levantados os dados de precipitação pluvial de postos pluviométricos obtidos junto a Agência Nacional de Águas (ANA), no *site* *HIDROWEB*, localizados dentro ou relativamente próximos à bacia hidrográfica do Médio Paranapanema, no período de 37 anos, compreendido entre 1974 e 2010. A Figura 6 mostra a posição da UGRHI-17 no estado de São Paulo.



A seguir, selecionou-se as séries que apresentavam as melhores condições de registros e que detinham dados suficientes para uma análise climatológica, ou seja, no mínimo 37 anos de dados, a fim de se obter uma base de dados homogênea e bem distribuída espacialmente (Figura 7).



Foram escolhidas 30 estações meteorológicas que seriam utilizadas no procedimento de homogeneização de suas séries de dados que serviram de base para análise pluviométrica além do estudo da erosividade. A seguir a Tabela 1, com a representação dos detalhes de cada estação utilizada.

Tabela 1 - Identificação e localização dos postos pluviométricos da Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema (UGRHI-17).

Nº	Posto	Município	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	2250009	Racharia	22°13'	50°53'	550
2	2248026	São Manuel	22°44'	48°44'	710
3	2248029	Botucatu	22°49'	48°26'	780
4	2248030	Botucatu	22°52'	48°39'	800
5	2249006	Garça	22°12'	49°39'	680
6	2249008	Marília	22°13'	49°56'	640
7	2249011	Gália	22°19'	49°32'	560
8	2249023	Cabrália Paulista	22°27'	49°19'	500
9	2249025	Agudos	22°35'	49°24'	540
10	2249028	Ribeirão do Sul	22°47'	49°56'	480
11	2249029	Águas de Sta. Bárbara	22°53'	49°14'	560
12	2249032	Santa Cruz do Rio Pardo	22°54'	49°37'	490
13	2249034	Ourinhos I	22°59'	49°50'	460
14	2249058	Ourinhos II	22°59'	49°50'	470
15	2249060	São Pedro do Turvo	22°35'	49°49'	580
16	2249065	São Pedro do Turvo	22°45'	49°44'	460
17	2249071	Sta. Cruz do Rio Pardo	22°35'	49°33'	570
18	2249086	Óleo	22°57'	49°23'	660
19	2250011	Lutécia	22°22'	50°23'	500
20	2250013	Echaporã	22°26'	50°12'	680
21	2250016	Assis	22°38'	50°24'	560
22	2250017	Platina	22°38'	50°12'	420
23	2250023	Cândido Mota	22°53'	50°20'	360
24	2250024	Salto Grande	22°53'	50°01'	380
25	2250037	Palmital	22°49'	50°18'	370
26	2250045	Rancharia	22°38'	50°54'	330
27	2250048	Assis	22°41'	50°29'	500
28	2250062	Quatã	22°14'	50°42'	520
29	2250063	Paraguaçu Paulista	22°25'	50°34'	480
30	2250064	Rancharia	22°7'	50°50'	430

Elaborador: O autor, 2014.

A exportação e organização dos dados foram efetuadas através do *software Microsoft Office Excel*, onde foi possível verificar a existência de falhas nas séries históricas, as quais teriam que ser corrigidas através de um método estatístico apropriado

para essa análise, de modo que a base se tornasse homogênea temporalmente, não comprometendo os resultados finais.

Para correção das lacunas existente na base de dados, utilizou-se o pacote estatístico "*Climatol*", subrotina do R, *software* livre e de fácil acesso. Essa subrotina realiza consistência e homogeneização de dados, através de ajustes realizados por métodos estatísticos.

Foi utilizado também o *software Surfer Mapping System* para a elaboração de mapas de isolinhas, possibilitando a visualização da distribuição espacial das estações pluviométricas na Unidade e os respectivos dados.

Além disso, os dados usados para caracterização da área de estudo sobre seus aspectos econômicos, sociais e físico-naturais foi utilizado o Plano de Bacia do Médio Paranapanema elaborado no ano de 2007 e o site Comitê de Bacia Hidrográfica Rio Paranapanema.

Os planos criados para a gestão de bacias hidrográficas são muito favoráveis ao processo político-administrativo que envolve as Unidades de Gerenciamento de Recursos Hídricos. O plano de bacia da UGRHI-17 foi criado com o intuito de auxiliar na solução de problemas e melhorar o aproveitamento das aptidões dessa bacia.

Assim colaborando com a participação do Comitê de Bacias Hidrográficas do Médio Paranapanema (CBH-MP), o plano de bacia é uma ferramenta fundamental para sua gestão, além de contar com os Relatórios de Recursos Hídricos à medida que forem realizados para as atualizações necessárias ( Plano de Bacia - MP, 2007).

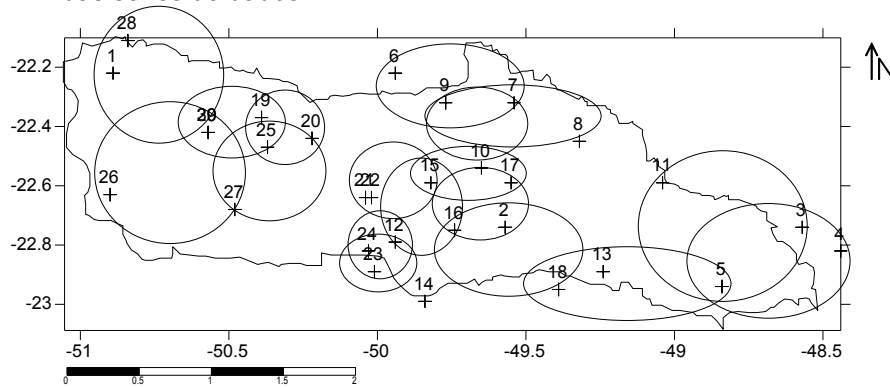
## 4.2 Homogeneização

No processo de homogeneização, a série de dados pluviométricos foi sujeita ao preenchimento de suas falhas. Através de uma variedade de ajustes estatísticos, o *software Climatol*, homogeiniza o conjunto, completando ou equilibrando os dados faltantes.

O procedimento consiste em comparar cada uma das séries com uma série de referência construída a partir das demais, de maneira a preencher os dados ausentes e detectar dados anômalos, produzidos por causas não meteorológicas. Para seleção do conjunto de estações, foi utilizada a distância como critério de correlação, a fim de usar estações próximas que detenham o mesmo espaço temporal.

Neste caso, trabalhou-se com agrupamentos de três estações para a efetuação da homogeneização dos dados pelo "*Climatol*" R (Figura 8).

Figura 8- Mapa das estações pluviométricas agrupadas para homogeneização das séries de dados.



Elaborador: O autor, 2014.

O software fornece uma planilha organizada com dados de saída homogeneizados, além de gráficos que demonstram os pontos de ajuste dentro a série de dados temporal. Essa série de dados ajustados será utilizada no prosseguimento do trabalho para as análises seguintes.

### 4.3 Análises estatísticas

A base de dados pluviométricos foi explorada através da Estatística Descritiva como uma maneira entender a dinâmica da chuva na área de estudo.

Com base em escalas mensais, sazonais, anuais e interanuais, calculou-se diversos parâmetros estatísticos, tais como: média, desvio padrão, coeficiente de variação, máximo, mínimo, amplitude e amplitude interquartil.

A média aritmética, por exemplo, é muito relevante na análise de séries de dados pluviométricos, pois fornece importante informação sobre o resumo dos dados. A média aritmética é dada por:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$$

Onde  $X_i$  = valor do evento  $i$ ;  $n$  = número total de eventos.

O desvio-padrão é uma medida de dispersão, ou seja, mede a variação dos dados em torno da média. Assim pode ser usado para identificar a variabilidade dos dados.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

Esses cálculos foram realizados também através do *software Microsoft Office Excel*, classificando as séries entre períodos secos e úmidos (curtos e longos). Os períodos secos

de três meses foram junho, julho e agosto. Os períodos secos de seis meses foram: abril, maio, junho, julho, agosto e setembro. Os períodos úmidos curtos foram: dezembro, janeiro e fevereiro. Os períodos úmidos de seis meses foram: outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março.

Essa análise estatística em diferentes escalas permite uma melhor espacialização dos regimes pluviométricos, possibilitando uma melhor representação dos fenômenos geográficos, considerando que a área de estudo encontra-se numa região de transição entre o clima subtropical e tropical.

Para que as séries de dados pluviométricos resultantes após os cálculos estatísticos pudessem ser visualizadas espacialmente, utilizou-se o *software Surfer Mapping System*, versão 8.0 para elaboração de isoietas UGRHI-17. Este programa possibilita traçar isolinhas e ajustá-las, através de interpoladores, utilizando diferentes modelos (linear, gaussiano, exponencial, dentre outros).

Foram traçadas isolinhas para todo período analisado, sob diversos parâmetros estatísticos propostos, utilizando o método de interpolação de Kriger além do uso de variogramas para suavização e melhor construção das isolinhas. “O método krigagem é a melhor forma de se interpolar dados de chuva, possibilitando a construção de mapas, pois pode economizar amostragem e interpolar sem tendenciosidade e como mínima variância do erro de interpolação” (VIEIRA; LOMBARDI NETO, 1995, p. 408).

A verificação de tendências anuais nas precipitações, ou seja, a avaliação das possíveis variações dentre os eventos extremos de chuvas foi utilizada para descobrir se a série de dados apresenta ou não tendência de aumentar ou diminuir seus valores numéricos. Assim, visualizar uma possível variação temporal das chuvas crescente ou decrescente.

Yevjevich (1972) *apud* Back (2001, p. 213) “Define tendência em uma série temporal como uma mudança sistemática e contínua em qualquer parâmetro de uma dada amostra, excluindo-se mudanças periódicas”. Conforme Parizotto (2008, p. 35) “[...] através da análise de regressão linear, pode-se estimar a dependência existente entre os dados de precipitação ao longo dos anos. Esta dependência pode ser representada por uma relação funcional entre as duas variáveis  $x$  e  $y$ :  $y=f(x)$ ”.

A qualidade do ajuste pode ser avaliada pelo coeficiente de determinação ou poder explicativo ( $R^2$ ). Quanto mais próximo de 1 estiver o valor de  $R^2$ , melhor a qualidade do ajuste. Por exemplo, se o coeficiente for 0,98, isto significa que 98% das variações são explicadas por  $x$ , sendo  $x$  os anos do período em questão e  $y$  as precipitações pluviárias, através da função escolhida e 2% são atribuídas a causas aleatórias. (PARIZZOTO, 2008, p. 35).

O *software Microsoft Office Excel* foi utilizado para fazer gráficos de dispersão para algumas das séries de dados e assim verificar a possível tendência da série de dados.

Através do  $R^2$  (coeficiente de determinação), analisou-se se as tendências obtidas eram significativas ou não. Além disso, pode-se obter a equação da reta para o conjunto de dados.

Além dos diagramas de dispersão, foi elaborada uma tabela com os valores de  $R^2$  para fins de comparação e melhor visualização dos resultados quanto a uma tendência significativa.

#### 4.4 Erosividade

O potencial da chuva em causar erosão hídrica pode ser avaliado por meio de índices, que se baseiam nas características físicas das chuvas de cada região. Wischmeier e Smith (1958) concluíram que o produto da energia do transporte das cinéticas da chuva pela sua intensidade máxima em trinta minutos ( $EI_{30}$ ) é a relação que melhor expressa desse potencial.

Segundo Lombardi Neto e Moldenhauer (1992), o método do cálculo do R proposto por Wischmeier e Smith (1958) é lento muito trabalhoso por envolver informações contidas em diagramas diários de chuva.

Devido ao fato de que os registros de pluviógrafos são escassos ou inexistentes em países pouco desenvolvidos, além das análises dos diagramas dos pluviógrafos para fins de cálculo da energia cinética serem extremamente morosas e trabalhosas, diversos autores tentaram correlacionar o índice de erosão com fatores climáticos de mais fácil medida e que não requeriam registros de intensidade de chuva (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992, p.190)

Em vista disso, Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) em seu estudo sobre as perdas de solo no município de Campinas, encontraram alta correlação entre o valor médio mensal do  $EI_{30}$  e o valor médio mensal do coeficiente de chuva ( $p/P$ ), sendo  $p$ , precipitação média mensal e  $P$  a precipitação média anual em mm. Assim, tornou-se possível o cálculo do R sem o uso de diagramas de pluviógrafos.

Para a determinação do fator R da EUPS utiliza-se uma equação empírica que a partir de dados analisados, fornece um coeficiente de chuva ( $R_c$ ) equivalente ao valor obtido pelo  $EI_{30}$ :

$$R_c = \frac{P_m^2}{P_a}$$

Onde:  $R_c$  = coeficiente de chuva em mm;  $P_m$  = a precipitação pluviométrica média mensal em mm;  $P_a$  = precipitação pluviométrica média anual.

Esta equação empírica foi utilizada por pesquisadores como Lombardi Neto (1977), Carvalho (1987) e Roque *et al.* (2001), os quais aplicaram dados pluviométricos contínuos

de no mínimo 20 anos, respectivamente para as localidades de Campinas, Mococa e Piraju.

A determinação dos índices de  $EI_{30}$  foi baseada no método de Wischemeier e Smith (1978), relacionando a precipitação média do mês, elevando ao quadrado, sobre a precipitação média anual, chegando a um valor expresso em  $MJ ha^{-1} mm h^{-1} mês^{-1}$ .

Dessa forma, Lombardi Neto e Mondenhauer (1980) *apud* Bertoni e Lombardi Neto (2012, p. 253) encontraram a correlação entre a média mensal do índice de erosão e a média mensal do coeficiente de chuva, simplificando o método de calcular o índice de erosão. A relação obtida é:

$$EI_{30} = 67,355 \cdot \left( \frac{Pm^2}{Pa} \right)^{0,850}$$

EI = média mensal do índice de erosão em  $MJ ha^{-1} mm h^{-1} mês^{-1}$ ; p = precipitação média mensal em milímetros; P = precipitação media anual em milímetros.

Essa equação estima com relativa precisão os valores médios de EI de um local, usando somente totais de chuva, os quais são disponíveis para muitos locais. Tal equação foi utilizada para determinação do índice de erosividade para diversas localidades do estado de São Paulo, através de um estudo feito por Lombardi Neto e Mondenhauer em 1992.

Depois de calculado o índice de erosividade da chuva para todo o período de 1974 a 2010, ao longo da UGRHI-17, foram elaboradas as isoerodentes (isolinhas de erosividade) através do *software Surfer Mapping System*, versão 8.0, para que assim fosse demonstrado o potencial erosivo em relação ao comportamento pluviométrico da área.

#### 4.5 Máximos de chuva

A função *DataConversion* que atua no ambiente R, foi utilizada para identificar dentre a série temporal de 37 anos, os valores máximos diários, isto é, os valores pluviométricos mais altos que ocorreram durante todos os meses desse período. Assim pode-se analisar somente com as chuvas extremas de cada ano.

Ao trabalhar-se com o R, as séries pluviométricas devem ser previamente organizadas em suas respectivas planilhas de maneira que os procedimentos no interior do pacote sejam aceitos, isso foi feito para dez estações escolhidas dentre as trabalhadas anteriormente.

Após essa etapa, ao se carregar a subrotina *DataConversion*, com apenas alguns comandos o *software* gera os dados de saída. Com isso, o uso dessa subrotina possibilitou a obtenção dos resultados de maneira rápida e clara.

Os resultados obtidos através dessa função que foram utilizados no trabalho são, planilhas com os valores pluviométricos máximos de cada ano e gráficos de escala temporal.

Os máximos diários de chuva são determinados e assim verificados os anos de chuvas mais intensas. Esses valores foram trabalhados através de cálculos de probabilidades para que se possa analisar o período de retorno para os respectivos eventos extremos através de diferentes parâmetros estatísticos.

#### 4.6 Funções teóricas de probabilidades e período de retorno

Como auxílio para os cálculos de distribuições de probabilidades, foi utilizada a Apostila de Hidrologia aplicada do Profº José Afonso Pedrazzi [s.d.] da qual contém em seu capítulo 9 “Previsão de enchentes métodos estatísticos”, as distribuições teóricas de probabilidades e suas respectivas fórmulas estatísticas, além da exemplificação desse método.

Para essas determinações foram utilizadas algumas distribuições de probabilidade como: distribuição Log-normal, Log-Pearson tipo III e Gumbel.

Na utilização das funções teóricas de probabilidade, realizou-se o cálculo para o período de retorno de 25 anos, 50 anos, 100 anos e 1.000 anos.

A distribuição Log-Normal é feita com base na Fórmula Geral de Ven Te Chow para Y:

$$Y_T = \bar{Y} + S_Y \cdot K_T$$

Onde: a média será determinada pelo logaritmo de X.

A distribuição de Log-Pearson tipo III é calculada de forma semelhante ao Log-Normal, porém o fator de frequência  $K_P$  Anexo) tem sua determinação considerando o coeficiente de assimetria.

$$Y_T = \bar{Y} + S_Y \cdot K_P$$

$$X_T = 10^{Y_T}$$

g - coeficiente de assimetria, dado por:

$$g = \frac{n \sum d_i^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S_Y^3}$$

Onde: n - número de eventos hidrológicos considerados;  $d_i = Y_i - \bar{Y}$  (desvio entre  $Y_i$  e a média);  $S_Y$  - desvio padrão de  $Y_i$ ;

A distribuição de Gumbel também pode ser calculada através do uso da fórmula Geral de Ven Te Chow. Entretanto, nesse trabalho utilizou-se da seguinte função:

$$y_T = -\ln \left[ -\ln \left( \frac{T-1}{T} \right) \right]$$

Onde:  $\ln$  refere-se a logaritmo neperiano;  $T$  a período de retorno dado em anos.

$y_T$  é dado por:

$$y_T = \frac{X_T - \bar{X} + 0,45 \cdot S_X}{0,7797 \cdot S_X}$$

Onde:  $X_T$  - vazão (ou chuva) para um determinado período de retorno  $T$ ;  $\bar{X}$  = média da amostra;  $S_X$  = desvio padrão da amostra;  $y_T$  - variável reduzida Gumbel para período de retorno  $T$ .

É válido notificar que os resultados são dados em (mm), sendo os períodos de retorno (anos) previamente estabelecidos para os cálculos.

Assim, através dos parâmetros de determinação em cada função foi possível chegar aos resultados de chuvas máximas para os respectivos tempos de retorno e assim fazer a comparação de resultados entre as equações.

Após os cálculos das quatro funções de probabilidade sobre os valores máximos de chuvas, foi verificado qual dessas funções se ajustaria melhor a cada série de dados analisada.

Através do teste de Kolmogorov-Smirnov fez-se uma breve constatação de qual seria a melhor opção de função de distribuição a ser utilizada para esse tipo de análise de hidrologia estatística.

A distribuição *GEV* (Generalizada dos valores extremos) foi inserida para análise nessa etapa da pesquisa.

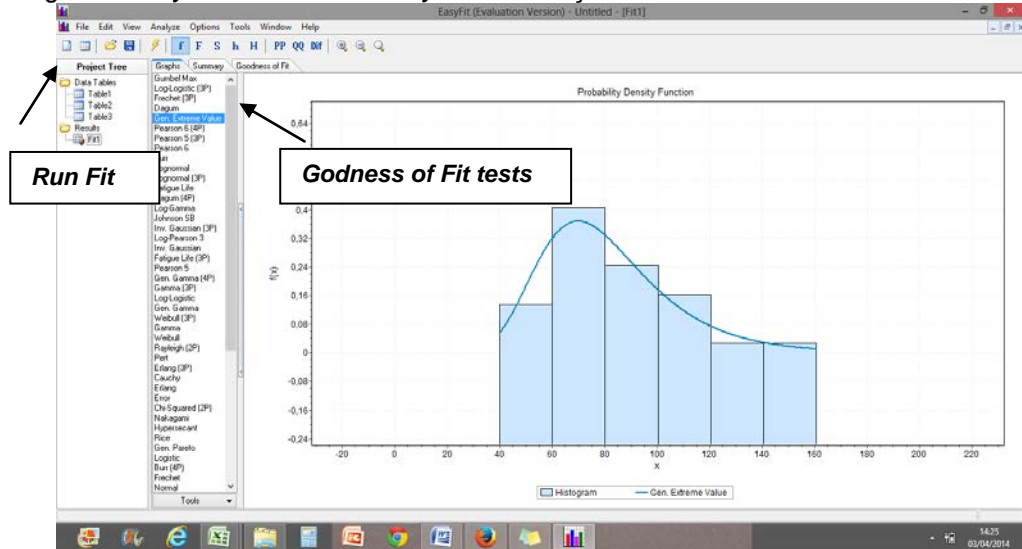
O *software Easyfit 5.5 Standart* foi utilizado para realização do Teste de Kolmogorov-Smirnov. Nesse programa, o teste de adequação (*Godness of fit tests*), serve para medir a compatibilidade de uma amostra aleatória com a função de distribuição de probabilidade teórica, demonstrando assim o quanto a distribuição em questão se ajusta a série de dados.

O processamento dos dados nesse programa funciona da seguinte forma: após a importação dos dados do *Microsoft Office Excel*, (no caso foram utilizadas as séries dos máximos pluviométricos calculados a partir do *software DataConversion*) seleciona-se a função *run fit* e automaticamente serão gerados os gráficos de função de probabilidade para todas diversas funções de distribuição utilizadas no programa.

No mesmo layout existe a opção da ferramenta *Godness of Fit Tests*, é nesse momento em que seleciona o teste de aderência desejado, o Kolmogorov-Smirnov (Figura 9). Assim o programa fornecerá uma tabela com o ranking das distribuições que apresentaram um melhor ajuste aos dados utilizados. Dessa forma, foi possível comparar

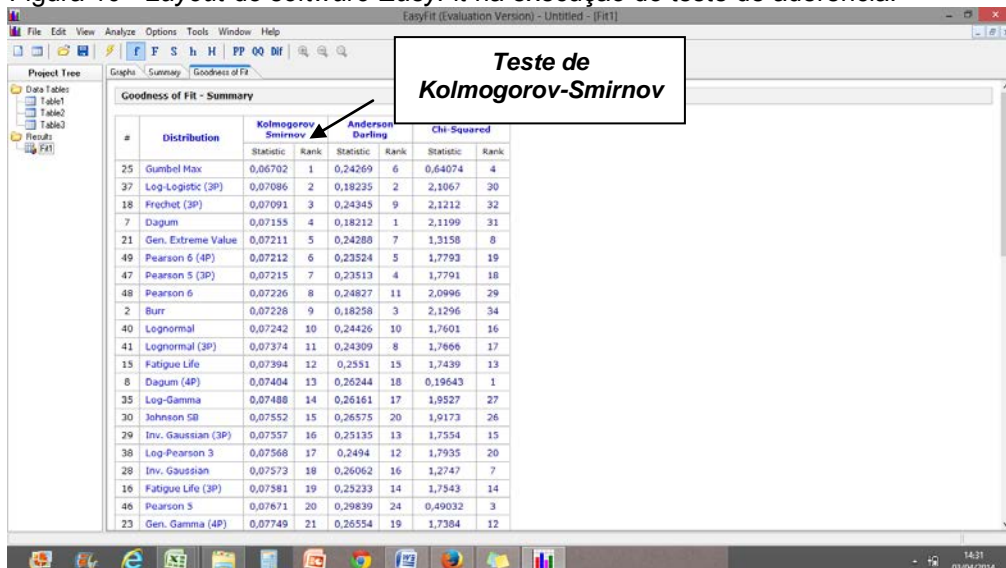
dentre as quatro funções teóricas de probabilidade: Log-normal, Log-Pearson Tipo III, Gumbel e *GEV*, qual a sua posição em relação ao teste realizado (Figura 10).

Figura 9 - *Layout* do software *Easyfit* na execução do teste de aderência.



Fonte: Software Easyfit. Adaptado por autora, 2014.

Figura 10 - *Layout* do software *EasyFit* na execução do teste de aderência.



Fonte: Software Easyfit. Adaptado por autora, 2014.

## 5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Observou-se que a variabilidade pluviométrica na UGRHI-17 é bem marcada, com chuvas bem distribuídas por toda região, apresentando uma média climatológica de 1.381 mm, no decorrer dos 37 anos estudados.

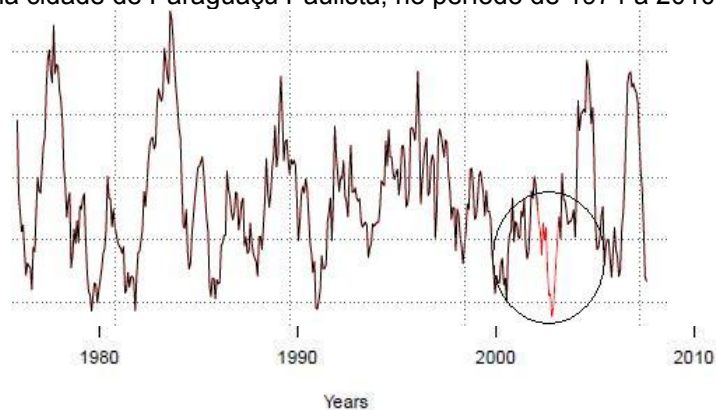
Realizada a homogeneização dos dados pluviométricos, foi possível identificar uma ligeira modificação nos dados das séries.

Através da análise estatística descritiva realizada a partir desses dados, já homogeneizados, teve-se noção da variabilidade pluviométrica desses períodos em relação ao período total calculado. Essa análise em diferentes escalas permite uma melhor espacialização dos regimes pluviométricos, possibilitando uma melhor representação dos fenômenos geográficos, considerando que a área de estudo encontra-se numa região de transição entre o clima subtropical e tropical.

A homogeneização dos dados pluviométricos foi realizada através do *software Climatol*, selecionando o agrupamento a cada três estações, das quais serão utilizada posteriormente para os cálculos climatológicos.

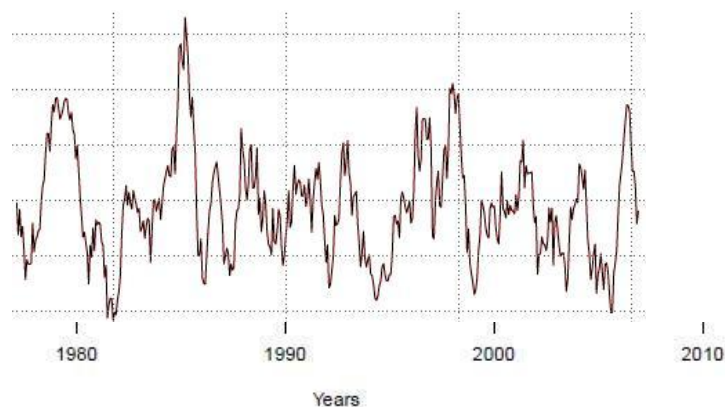
A seguir alguns exemplos de séries pluviométricas homogeneizadas utilizadas nesse trabalho. As Figuras 11 a 13 apresentam algumas séries pluviométricas consistidas, preenchidas e homogeneizadas. Os exemplos de mais séries de dados homogeneizados estão em anexo (APÊNDICE I).

Figura 11 - Série de dados homogeneizados do posto pluviométrico na cidade de Paraguaçu Paulista, no período de 1974 a 2010.



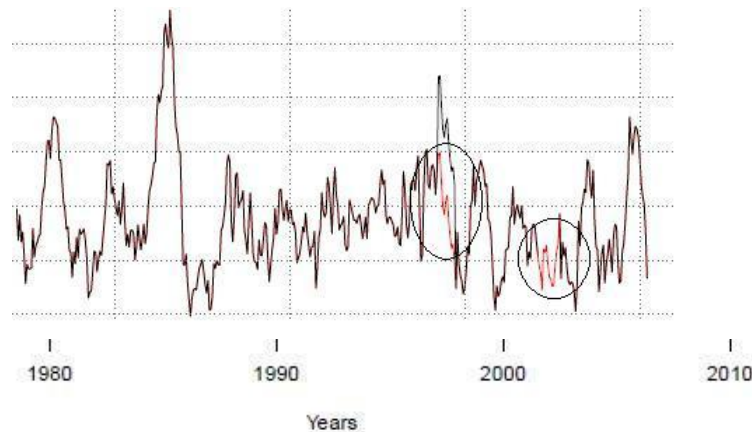
Elaborador: O autor, 2014.

Figura 12- Série de dados homogeneizados do posto pluviométrico na cidade de Rancharia, no período de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

Figura 13 - Série de dados homogeneizados do posto pluviométrico na cidade de Assis, no período de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

Pode-se perceber que os ajustes foram capazes de suavizar possíveis variações abruptas, não concernentes a variação natural das séries analisadas. As áreas em destaque nas figura 11, 12e 13 , representam os pontos (dados) em que as séries pluviométricas foram ajustadas ou completadas.

Assim, eliminaram-se as heterogeneidades, procurando preservar as peculiaridades da variabilidade climatológica na região analisada.

A próxima etapa desse estudo foi trabalhar com a análise estatística descritiva a partir desses dados já homogeneizados. Assim, o parâmetro estatístico forneceu uma noção da variabilidade pluviométrica desses períodos em relação ao período total calculado.

Na Tabela 2, estão representados os valores das estatísticas descritivas aplicadas para os postos pluviométricos, referentes à análise do período total.

Tabela 2 – Estatísticas descritivas aplicadas para análise da precipitação pluvial (mm) incidente sobre a UGRHI-17, durante o período de 1974 a 2010.

Nº	Nome do posto	Média (mm)	DP (mm)	CV (%)	Ampl (mm)	AIQ (mm)	Máx (mm)	Mín (mm)
1	Rancharia (Mc Fadden)	1262	231	0,18	162	960	1866	905
2	São Manuel	1545	270	0,17	151	985	2261	1276
3	Faz. S. J. Morro Vermelho	1520	309	0,20	152	922	2433	1511
4	Faz. Monte Alegre	1374	346	0,25	288	737	2066	1329
5	Garça	1507	287	0,19	176	981	2250	1269
6	Marília	1521	300	0,20	139	953	2223	1270
7	Gália	1471	338	0,23	181	927	2344	1416
8	Cabrália Paulista	1339	289	0,22	101	486	1999	1513
9	Paulistânia	1259	252	0,20	101	806	1839	1033
10	Ribeirão do Sul	1352	222	0,16	182	946	1845	899

Tabela 2 “Continuação”.

11	Águas de Sta. Bárbara	1375	256	0,19	148	933	1987	1054
12	Santa Cruz do Rio Pardo	1384	271	0,20	219	851	1977	1126
13	Ourinhos	1325	264	0,20	234	861	1996	1136
14	Faz. Lajeadozinho	1460	258	0,18	122	998	1975	977
15	Areia Branca	1325	237	0,18	133	827	1656	830
16	São Pedro do Turvo	1322	262	0,20	302	957	1984	1027
17	Faz. São Francisco	1345	226	0,17	145	1024	1988	1943
18	Faz. Nova Niágara	1436	267	0,19	218	943	2211	1268
19	Agrop. Sto. Antônio	1343	249	0,19	156	859	1917	1058
20	Echaporã	1406	278	0,20	132	983	2141	1158
21	Assis	1368	276	0,20	101	1018	2018	1000
22	Platina	1383	275	0,20	156	965	2034	1069
23	Usina Pari	1303	228	0,17	74	816	1844	1029
24	Porto Jaú	1294	264	0,20	259	802	1991	1189
25	Sucui	1371	239	0,17	110	1032	1962	930
26	Gardênia	1370	225	0,16	140	978	1905	927
27	Água da Fortuna	1373	222	0,16	135	978	1905	927
28	Quatã	1425	222	0,16	81	1094	2063	969
29	Paraguaçu Paulista	1345	239	0,18	148	962	1859	897
30	Faz. Barra Mansa	1339	224	0,17	167	885	1884	999

Nº. = Número do posto pluviométrico (Tabela 1); DP = Desvio Padrão (mm); CV = Coeficiente de Variação; Máx. = Máximo precipitado; Mín. = Mínimo precipitado; AIQ = Amplitude interquartil.

Elaborador: O autor, 2014.

A média anual das precipitações na UGRHI-17 foi de 1.381 mm, com a menor média pluviométrica registrada (1.259 mm) na estação 9 (Paulistânia) no município de Agudos e a maior, (1.545 mm), registrada em São Manuel, estação 2. Pode-se observar que a amplitude entre o valor médio máximo e mínimo é de 286 mm. Também é possível verificar que a variabilidade relativa, obtida através do coeficiente de variação não foi considerável, mostrando que não se trata de uma área com marcada variabilidade pluviométrica. Isso também pode ser observado através do desvio padrão, de acordo com a Tabela 2.

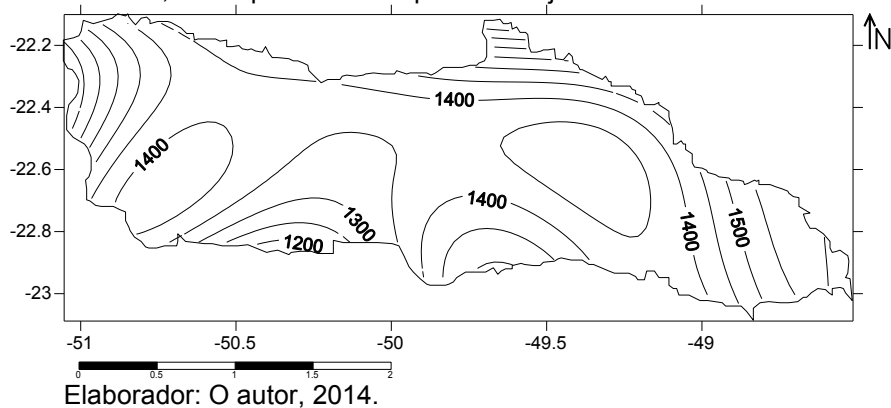
A etapa seguinte do trabalho consistiu em analisar com os valores pluviométricos referentes ao período total, traçando isoietas para que sua variabilidade espacial fosse compreendida. As isolinhas ilustram sobre parâmetros estatísticos as diferentes formas de se analisar quais as características do regime das chuvas.

Conforme o critério adotado por Nery *et al.*, (2002, p. 1689), a maioria desses cálculos estatísticos foi realizada a partir das séries anuais (janeiro a dezembro) e séries para o período chuvoso e seco. Tal divisão efetuou-se para definir os processos físicos na diferentes estações consideradas.

Para uma melhor comparação entre os valores, foram construídas isolinhas de acordo com a sazonalidade anual, comparando períodos secos e chuvosos de 3 e 6 meses.

Na Figura 14 é possível observar como ficaram distribuídas as isolinhas da média precipitada, no período total ao longo do território da área de estudo. A precipitação pluvial na área de estudo oscilou entre 1.200 mm e 1.500mm, aproximadamente. Os maiores valores encontram-se a leste da Unidade, sendo que em grande parte os valores oscilam em torno de 1.400 mm.

Figura 14 – Isolinhas da média da precipitação pluvial (mm) incidente sobre a área de estudo, correspondendo ao período de janeiro de 1974 a dezembro de 2010.



Como o coeficiente de variação é uma medida relativa de variabilidade, útil para a comparação em termos de grau de concentração em torno da média, conforme se verifica na Figura 15, a variabilidade em relação à média, variou entre 17 % e 21 % em toda a Unidade, para os valores climatológicos. Assim, valores abaixo de 40 % indicam que a precipitação foi homogênea durante esse período na unidade.

Figura 15 – Isolinhas do coeficiente de variação da precipitação pluvial (mm) incidente sobre a área de estudo, correspondendo ao período de janeiro de 1974 a dezembro de 2010.

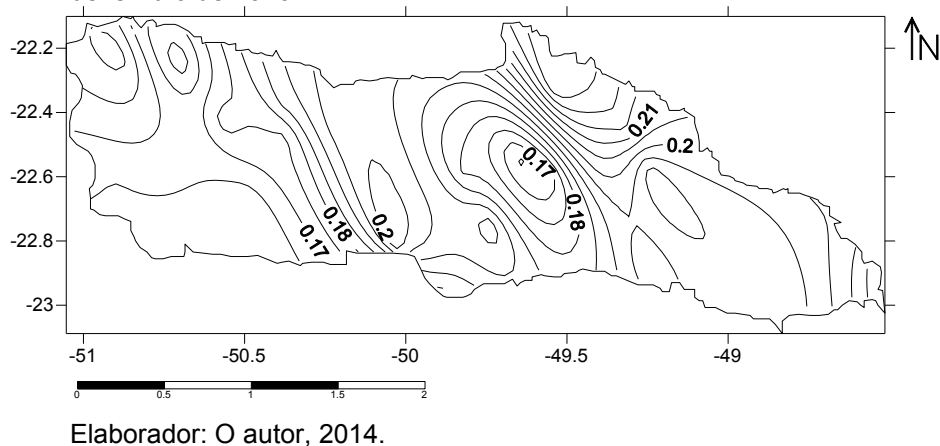
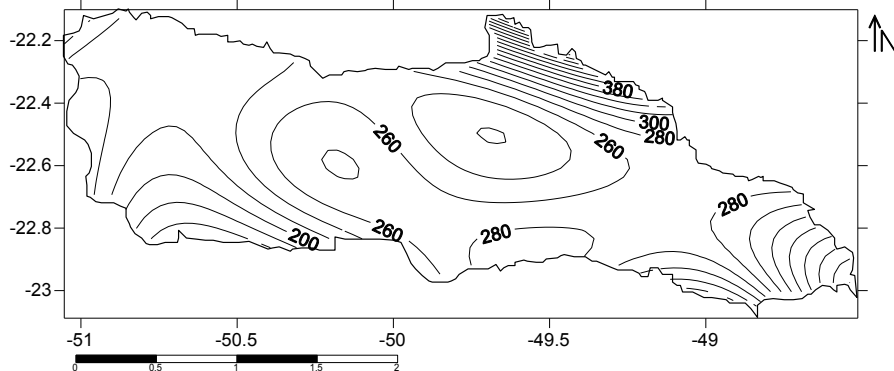


Figura 16 – Isolinhas de desvio-padrão da precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período de janeiro de 1974 a dezembro de 2010.



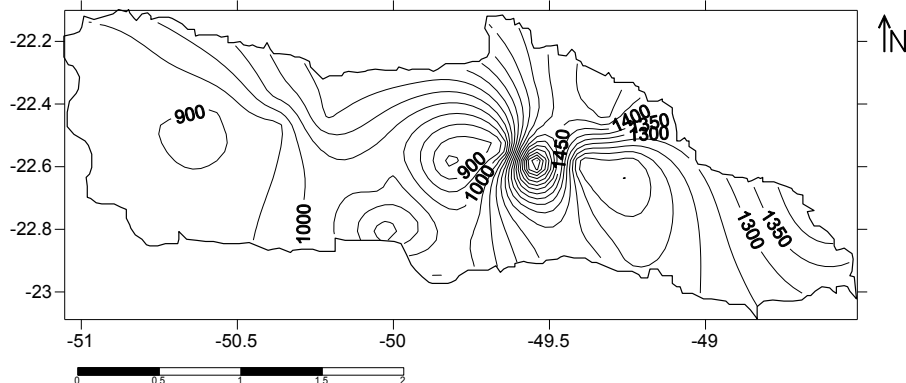
Elaborador: O autor, 2014.

Em relação ao desvio padrão, que é um dado equivalente à raiz quadrada positiva da variância, (Figura 16) constatou-se que os maiores desvios encontram-se na região nordeste da UGRHI-17. Percebe-se que em toda área a oscilação variou entre 200 e 300 mm, sendo alguns locais alcançaram valores de 380 mm. Esses resultados concordam com a figura 15 em que demonstra certa descontinuidade dos dados na porção nordeste da área.

Através da Figura 17, é possível observar a diferença existente entre os valores máximos e mínimos da Unidade durante esse período. Percebe-se que os valores são relativamente próximo, confirmando a hipótese de não haver marcada variabilidade absoluta e relativa na área de estudo.

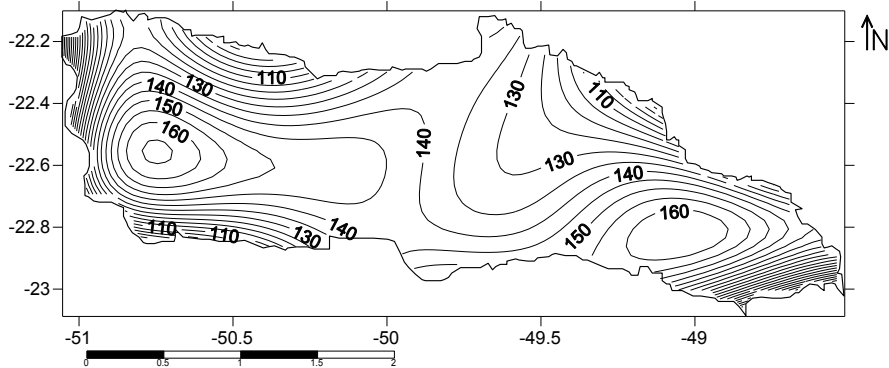
Entretanto, ao longo da área esses valores não possuem essa mesma amplitude entre os valores máximos e mínimos. Esse aspecto será mais bem analisado pelos gráficos e mapas a seguir, além de melhor bem compreendido através da relação entre os fenômenos ENOS que ocorre em alguns anos desse período e marcam bem os valores pluviométricos registrados.

Figura 17- Isolinhas de amplitude da precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período de janeiro de 1974 a dezembro de 2010.



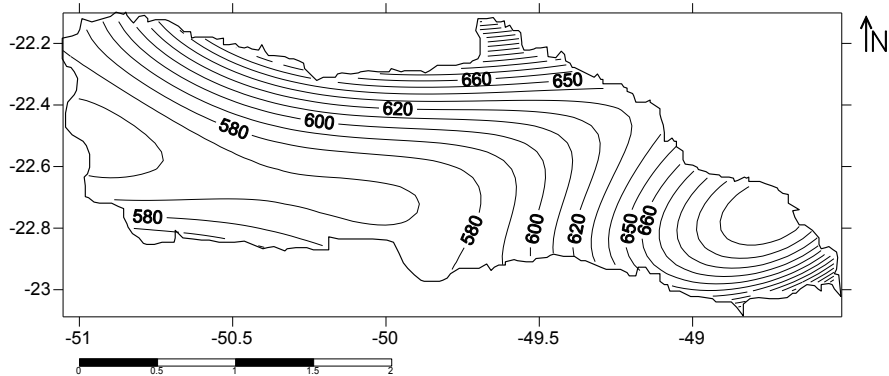
Elaborador: O autor, 2014.

Figura 18- Isolinhas da média da precipitação pluvial (mm) sobre área de estudo, correspondendo ao período seco de junho, julho e agosto de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

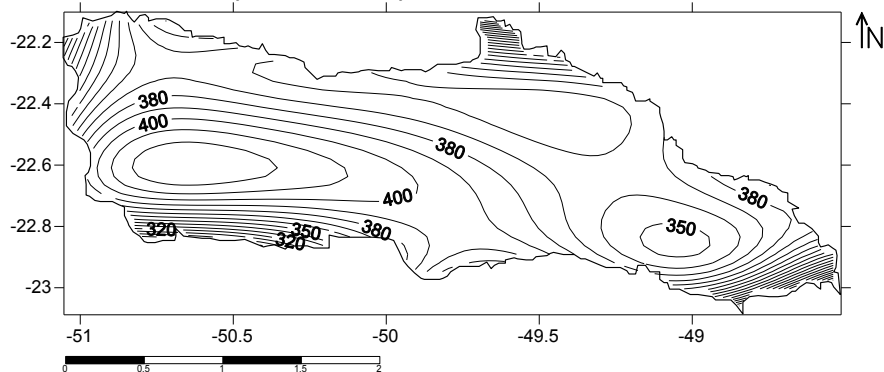
Figura 19 - Isolinhas da média da precipitação pluvial (mm) sobre área de estudo, correspondendo ao período úmido de dezembro, janeiro e fevereiro de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

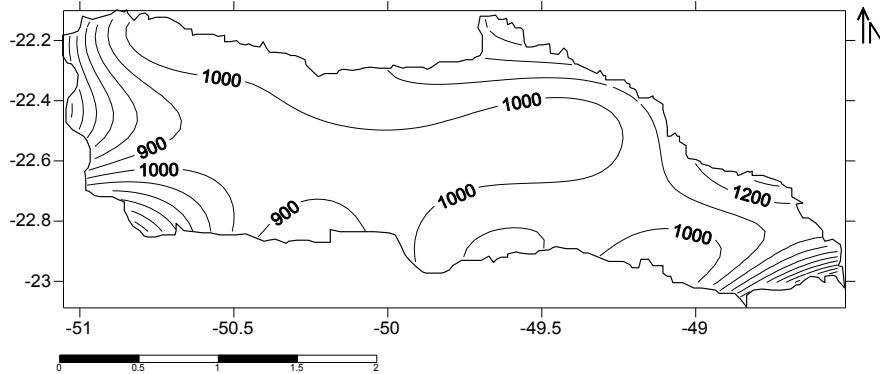
No período seco, o regime das chuvas é mais distribuído ao longo da área de estudo, não apresentando grandes amplitudes pluviométricas. Como pode ser observado, por exemplo, nas Figuras 18 e 20, nas quais a variação pluviométrica fica em torno dos 50 e 80 mm, respectivamente em cada um dos mapas. No semestre seco analisado os dados apresentaram-se com uma maior amplitude entre os dados do que no trimestre seco com cerca de 100 mm e 50 mm, respectivamente.

Figura 20 - Isolinhas da média da precipitação pluvial (mm) sobre área de estudo, correspondendo ao período seco de abril a setembro de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

Figura 21 - Isolinhas da média da precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período úmido de outubro a março de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

Na época chuvosa, nos dois casos, as chuvas são mais concentradas na porção norte e leste da Unidade, com médias pluviométricas que chegam até 1.200 mm. No semestre úmido (Figura 21) foi onde apresentou maior amplitude entre os valores ao longo da Unidade, sendo de 300 mm e no trimestre úmido (Figura 19) ocorre apenas 100 mm de variação. Essa configuração é semelhante tanto no período seco como no úmido.

No período úmido os maiores valores pluviométricos encontraram-se em sua maioria na região Leste, enquanto no período seco do ano esses valores estão localizados na parte ocidental, isso para as análises de três e seis meses (Figuras 18 a 21).

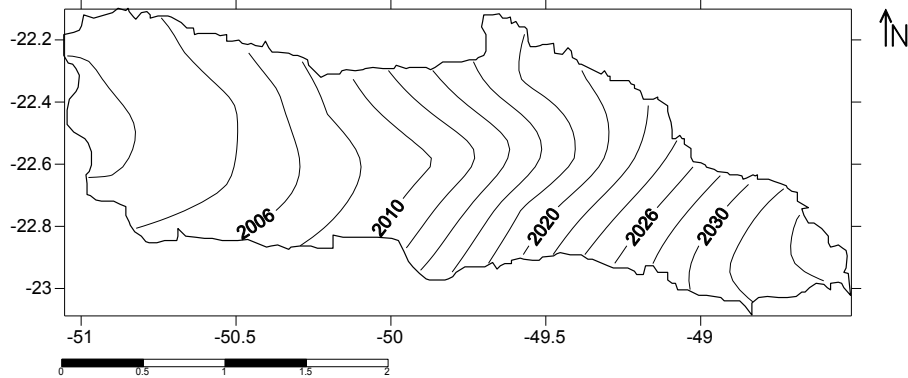
Deve-se ressaltar a importância do estudo da variabilidade pluviométrica no verão, pois é o período em que ocorre intensa formação das nuvens cumulonimbus, responsáveis pelas chuvas convectivas, caracterizadas pela alta quantidade e intensidade pluviométrica, na área de estudo. Através dos mapas anteriores foi possível constatar que no período úmido pode ocorrer até cinco vezes mais chuvas ao se comparar com a época mais seca.

Assim, a partir dos mapas foi possível verificar a clara distinção existente entre os dois períodos em relação à precipitação, diferenciando-se em quase 1.000 mm de chuva entre período seco e chuvoso, visto que também a amplitude dos valores é maior no período chuvoso do que no seco.

Deve-se ressaltar que no período úmido analisado verificaram-se médias pluviométricas mais elevadas sendo esse fato explicado pela dinâmica climatológica dos meses de verão no hemisfério Sul, com a penetração de ar quente e úmido proveniente da Amazônia, associado à entrada de frentes frias, provocando chuvas de grande intensidade na Unidade. Por outro lado, o estudo do período seco revelou baixas médias pluviométricas devidas à relativa ausência de umidade nessa época do ano, por conta da presença de bloqueios atmosféricos, que diminui a umidade atmosférica pela atividade de subsidência, introduzindo ar frio das camadas superiores da atmosférica sobre a área de estudo.

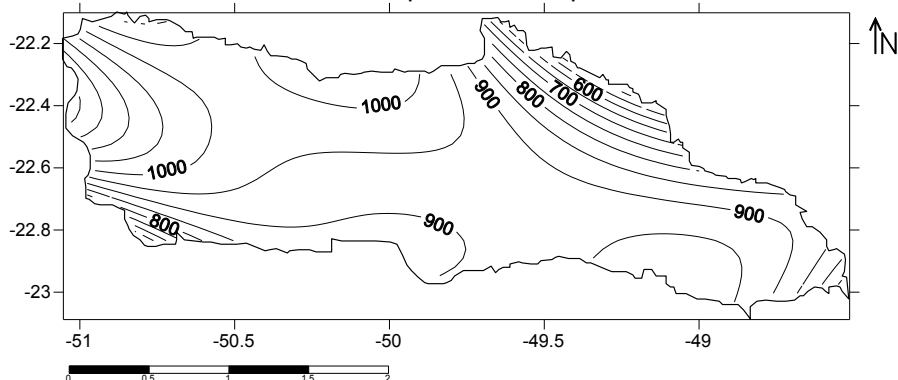
Foram calculados os máximos e mínimos de chuva para o período todo, sendo que para os máximos houve análises para três e seis meses. A seguir os mapas de isolinhas que demonstram como as chuvas ficaram distribuídas nessa análise (Figuras 22 a 25).

Figura 22 - Isolinhas de valores máximos de precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

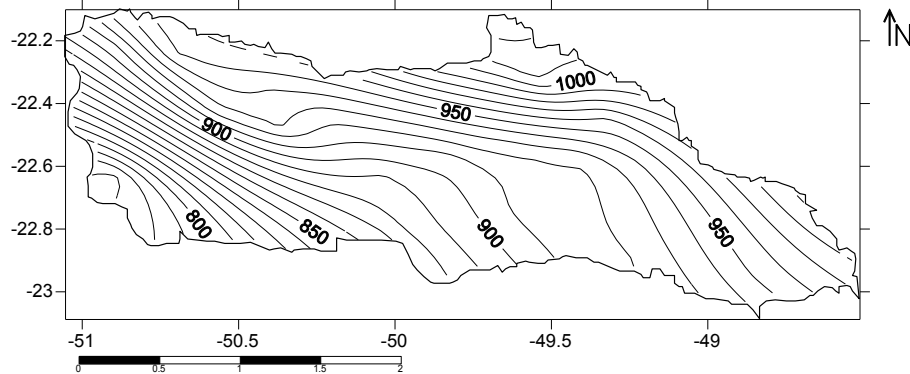
Figura 23 - Isolinhas de valores mínimos de precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

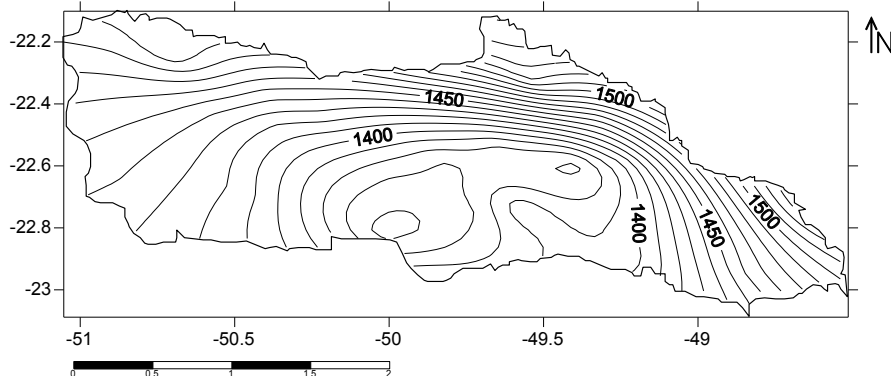
Utilizando-se das Figuras 22 e 23 é possível constatar a amplitude da precipitação pluvial em relação ao máximo e os valores mínimos de chuva, chegando a uma diferença cerca de 1.000 mm entre os mapas. Além disso, observou-se que a distribuição das chuvas é muito mais homogênea em relação aos valores máximos, variado em torno de 25 mm em toda bacia.

Figura 24 - Isolinhas de valores máximos da precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período úmido dos meses de dezembro, janeiro e fevereiro de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

Figura 25 - Isolinhas de valores máximos da precipitação pluvial (mm) incidente sobre área de estudo, correspondendo ao período úmido dos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

As chuvas estão bem espacializadas na Unidade. Não há grande variação entre as áreas e os valores quase não diferem relativamente, entre a análise trimestral e semestral, vendo que assim as chuvas são distribuídas entre todo período mais quente do ano (Figuras 24 e 25).

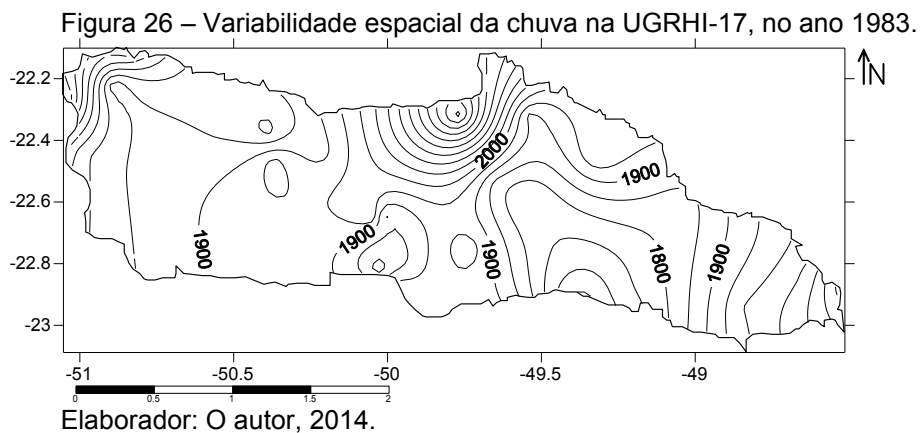
A área estudada sofre influência de diversas outras dinâmicas climáticas, as quais atuaram ao longo do ano, tais como as massas de ar, os sistemas de latitudes médias e altas e a convecção amazônica, além dos eventos ENOS. Quando ocorre a combinação entre esses sistemas produtores de tempo ocorreram chuvas duradouras e intensas sobre a UGRHI-17.

Durante os períodos de primavera-verão, cujo pico situou-se entre os meses de janeiro e fevereiro, há a constante presença de sistemas convectivos originados no sul da Amazônia, os quais causam chuvas concentradas, intensas, de curta duração, com significativa frequência e dotadas de maior potencial erosivo, devido a alta energia cinética. Já o outro período que se inicia com a chegada do outono-inverno, a partir do mês de abril,

caracteriza-se pela redução dos volumes pluviométricos em toda área de estudo. Esses aspectos puderam ser verificados através da análise dos mapas que se seguraram anteriormente.

Além disso, a variabilidade corresponde também à variação de ocorrência de El Niño e La Niña em determinados anos e também do evento ZCAS em algumas épocas do ano.

A seguir, foram construídas isolinhas definidas sobre outra perspectiva. Foi analisada a variação das chuvas em espaço temporal em escala anual (Figuras 256 e 27).

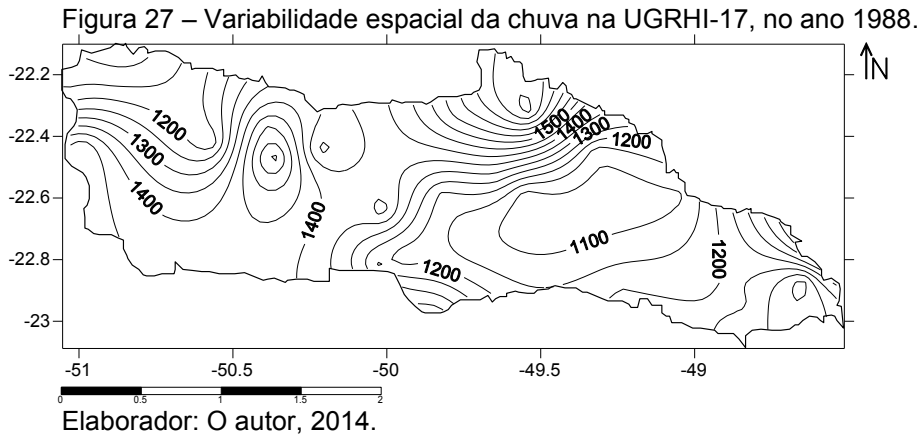


Verificou-se que o ano de 1983 a precipitação pluvial foi bem acima da média climatológica, estando esse ano associado à ocorrência de eventos ENOS, fase quente, também denominado de El Niño (Figuras 26).

Em 1983 a quantidade média de chuvas ao longo do ano foi maior em comparação com os anos de 1997 e 2010, que também foram anos de El Niño, por exemplo. Isso se deve a presença de um El Niño intenso, o qual foi considerado um dos eventos mais fortes atuantes na década de 80 e provavelmente nos últimos séculos. Pode-se visualizar que os altos valores pluviométricos são encontrados por toda unidade.

O evento El Niño de 1982-1983, marcado por excepcional elevação da temperatura de superfície do mar, causou grandes anomalias climáticas no mundo inteiro. No Brasil, praticamente todo o sul e o sudeste apresentaram, nos trimestres março/abril/maio e junho/julho/agosto de 1983, precipitação que superaram os níveis normais por mais de meio desvio-padrão. Os níveis pluviométricos da cidade de São Paulo apresentaram em maio uma elevação de mais de 300% enquanto os de Lajes (SC) excederam o normal de 650% em junho (MOLION, 1989 *apud* NERY; MARTINS, 1998).

No ano de 1988 obteve-se alguns valores um pouco abaixo da média. Nesse ano, em certos pontos, ocorreu evento La Niña, (fase de águas frias no oceano Pacífico equatorial e tropical), (Figuras 27).



Analisando a influência do La Niña é possível visualizar valores mais baixos, além de uma maior homogeneização ao longo da área.

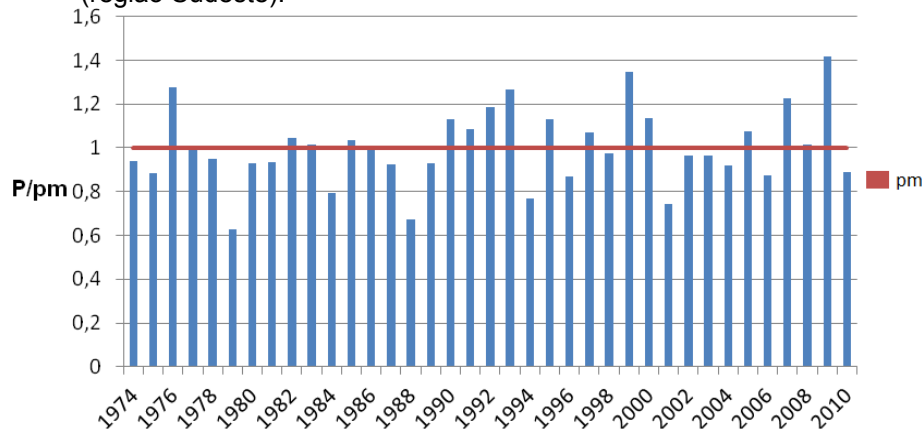
Em 1988 ocorreu variabilidade quanto à distribuição dos valores médios pluviométricos, nesse caso os valores mais altos estão na parte central e ocidental da área. Entretanto, em comparação com o mapa da Figura 26, observou-se redução nas médias pluviométricas para esse ano em decorrência do fenômeno La Niña, (Figura 26).

Ocorrências típicas de Anti-El Niño tiveram lugar em 1978-79, 1985-86, 1988-89. Em outubro de 1985, por exemplo, os níveis pluviométricos da cidade de São Paulo reduziram-se em 88 %, enquanto em Santa Maria e Cruz Alta (RS) a redução foi de 45 e 81 %, respectivamente (MOLION 1989 *apud* NERY; MARTINS, 1998).

A seguir, gráficos de colunas mostraram o registro das chuvas no período de 1974 a 2010 que ocorreram em estações meteorológicas instaladas em diferentes regiões da UGRHI-17. Os valores correspondem a uma relação da quantidade de chuva ocorrida em cada ano em relação à média pluviométrica de todos os anos do período da cada estação meteorológica. Em APÊNDICE II, há mais gráficos que exemplificam a variabilidade temporal pluviométrica.

Pode-se observar a marcada variação pluviométrica de ano para ano. Esses valores corresponderam aos aspectos naturais da região, como relevo e influência de eventos meteorológicos de diferentes amplitudes nos diferentes anos.

Figura 28 – Variabilidade temporal na estação da cidade de São Manuel (região Sudeste).

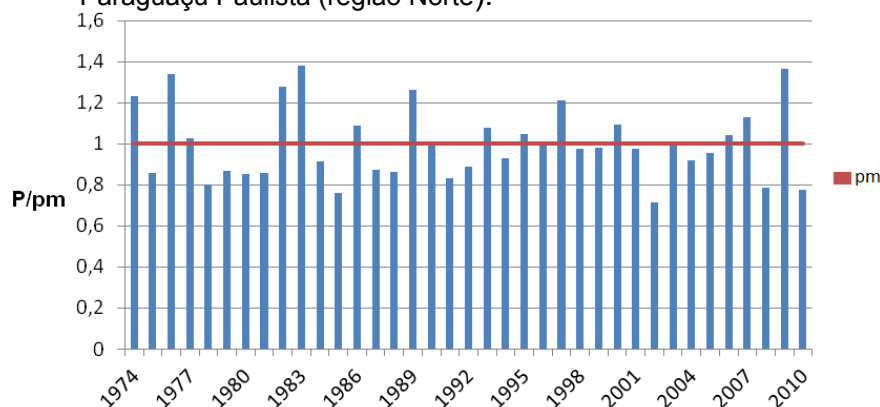


Elaborador: O autor, 2014.

Na estação de São Manuel (Figura 28), tem-se média pluviométrica mais elevada, com valores de 1,4 (P/pm) no ano de 1977. Essa estação está localizada na região Sudeste da Unidade, que apresenta os maiores valores pluviométricos da área de estudo, devido a influência do relevo (com maiores altitudes). Os anos de 1976, 1983 e 2007, que apresentam valores de chuva mais acentuados, correspondem à ocorrência de El Niño. Dos 37 anos analisados em 15 anos ocorreram chuvas acima da média climatológica, ou seja, aproximadamente 40 % dos anos, mostrando que essa Unidade possui um regime pluviométrico regular.

A seguir, os gráficos comparativos da região Norte, na cidade de Paraguaçu Paulista.

Figura 29 - Variabilidade temporal na estação da cidade de Paraguaçu Paulista (região Norte).



Elaborador: O autor, 2014.

Em geral a região Norte apresentou valores mais altos de precipitação do que a região Sul (Figura 28 e 29). Em mais de seis vezes as chuvas ultrapassaram 1,2, (P/pm), visto que ao sul da área de estudo, isso ocorreu somente em cinco anos. Em ambos os

casos, houve valores pluviométricos altos nos anos de El Niño, verificados em 1983 e 2009 (Região Norte e Sudeste).

Ainda em relação aos gráficos, outra análise interessante ocorre ao se observar o ano de 2009. Neste ano o volume pluviométrico foi marcadamente elevado, ultrapassando o valor de 1,4 P/pm. Valor este que foi atingido somente no ano de 1983, no qual ocorreu um dos mais intensos eventos de El Niño. É oportuno ressaltar que no ano de 2009 também ocorreu o fenômeno El Niño, estendendo-se até 2010, ano tal que foi utilizado nas análises com os mapas de isolinhas anteriores. Nesse ano foram registrados inúmeros casos de enchentes, desbarrancamentos e muitos rios ultrapassaram seus níveis recordes de cheia.

A partir da análise conjunta entre os gráficos de variabilidade temporal e os mapas de variabilidade espacial é possível relacionar os resultados e chegar a conclusões acerca de um estudo mais completo de variabilidade espaço-temporal.

Observando as Figuras 28 e 29, tendo como foco o ano de 1983, é possível verificar uma variação dos valores de P/pm entre os gráficos. Na região Norte os valores oscilam em torno de 1,4 P/pm, enquanto na região Sudeste esse valor é de 1 P/pm. Através da análise da Figura 26, pode-se confirmar esse resultado, pois o menor valor pluviométrico encontrado na Unidade para esse ano é de 1.800 mm na região Sudeste.

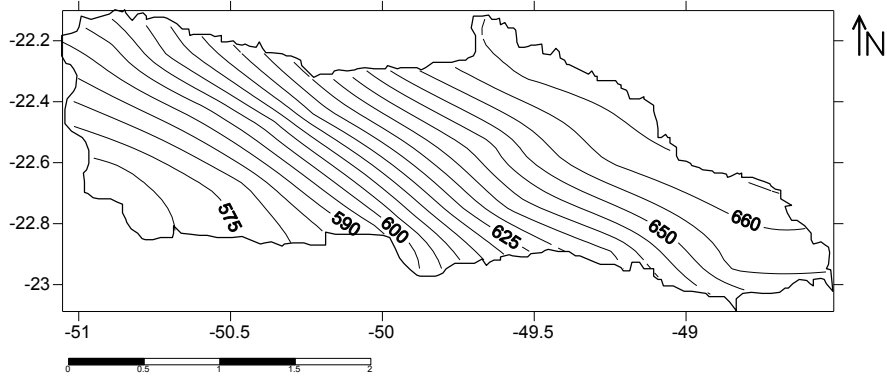
A Figura 29 apresenta a diferenciação do ano de 1988 em relação a região Norte da Unidade, pois os valores pluviométricos chegam a 0,8 P/pm. A quantidade de precipitação nessa região encontra-se na faixa de 1.500 mm, de acordo com a Figura 27.

Após essa análise acerca do estudo da variabilidade pluviométrica em toda UGRHI-17, no período de 37 anos, será analisada a distribuição de chuvas e correlacioná-la com a erosividade provocada por elas. Verifica-se assim intrínseca relação entre erosão e chuva, caracterizado com erosão hídrica. Dessa forma, será visto como as diferentes médias pluviométricas no decorrer da Unidade poderão influenciar também em valores diferenciados de erosividade da chuva.

Sobre a análise da erosividade, primeiramente seguem-se as isoerodentes referente aos meses de dezembro, janeiro e fevereiro (trimestre úmido) e junho, julho e agosto (trimestre seco). Essa análise foca na comparação entre os períodos extremos do ano, fazendo-se analogia com o comportamento climatológico da Unidade.

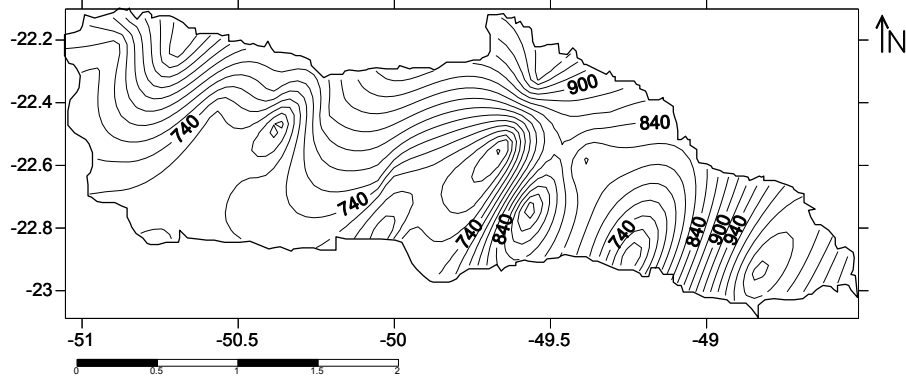
Assim foi possível observar como se organizam as isolinhas de erosividade da chuva, de acordo com o tempo e espaço, relacionando com os valores pluviométricos através dos mapas anteriores.

Figura 30 - Isoerodentes médias para o mês de dezembro ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010.



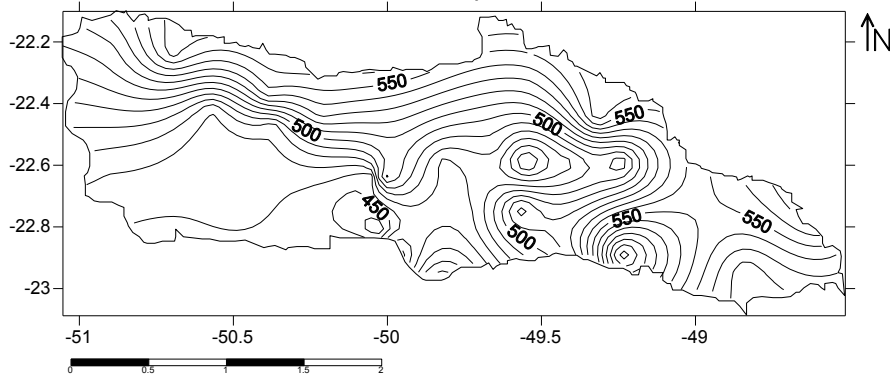
Elaborador: O autor, 2014.

Figura 31 - Isoerodentes médias para o mês de janeiro ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

Figura 32 - Isoerodentes médias para o mês de fevereiro ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro são meses que se apresentam como os mais erosivos da análise, representando 56 % do potencial erosivo de todo ano. Esse período tende a ser a época mais chuvosa do ano, por conta da forte atividade convectiva do verão no hemisfério Sul, correspondendo ao clima tropical. Essa atividade, por sua vez, tende a se prolongar por mais meses do ano, no entanto será mais expressiva a partir de

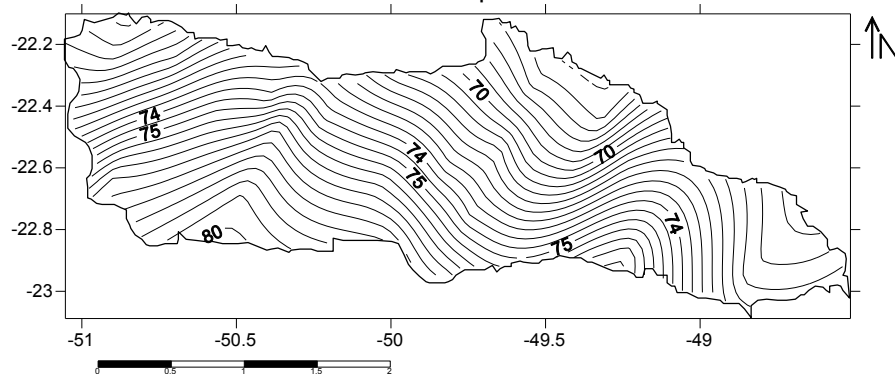
dezembro, alcançando seu pico em janeiro e decaindo em fevereiro, com pluviosidade média mais baixa que no mês de dezembro.

Essa análise irá se refletir da mesma forma sobre a distribuição temporal da erosividade da chuva. De acordo com as Figuras 30, 31 e 32, os mapas de erosividade irão demonstrar como os valores se diferenciam de acordo com a dinâmica das chuvas. Os maiores valores estão no mês de janeiro, alcançando médias de  $900 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , a mais alta de todo período e depois com valores entre 500 e  $600 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , entre os meses de dezembro e fevereiro. Em janeiro ocorreram valores maiores do que em dezembro e fevereiro, a variação entre os meses é de aproximadamente de  $170 \text{ MJ ha}$ .

Em relação a todos os anos do período analisado, no mês de janeiro ocorreram os maiores valores médios de coeficiente de chuva, isto é, os valores médios pluviométricos desse mês em relação à média climatológica, são os mais elevados em comparação com os outros 11 meses do ano. Isso significa que devido a grande quantidade de precipitação no mês de janeiro, o mapa de erosividade elaborado para esse mês acusou potencial erosivo da convecção desse período, demonstrando que os altos valores pluviométricos irão refletir no potencial de erosividade da chuva.

No aspecto espacial, as isolinhas de erosividade concordam com as médias pluviométricas, conforme a Figura 14. A distribuição dos valores médios está de acordo, com valores mais altos na porção norte e leste e menores a oeste do mapa. Além da influência da ZCAS, essa distribuição está também relacionada com o aspecto orográfico da área, da qual contribui com médias pluviométricas mais acentuadas devido as contribuição das chuvas orográficas na porção leste da Unidade, onde se localizam as maiores altitudes.

Figura 33 - Isoerodentes médias para o mês de junho ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

Figura 34 - Isoerodentes médias para o mês de julho (MJ ha<sup>-1</sup> mm h<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010.

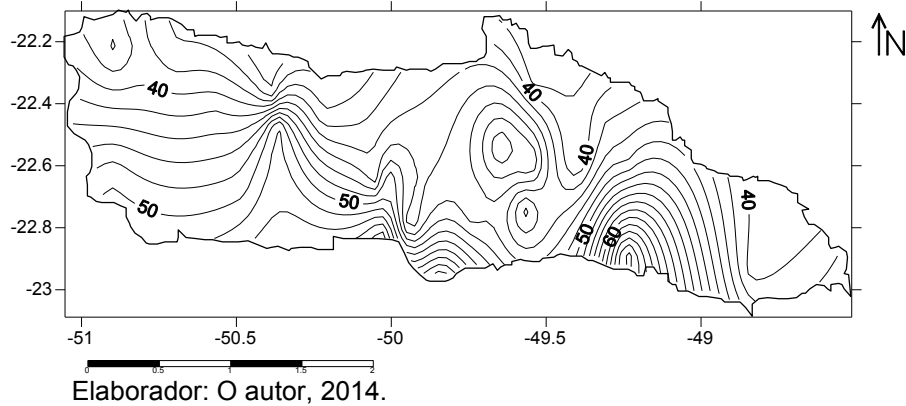
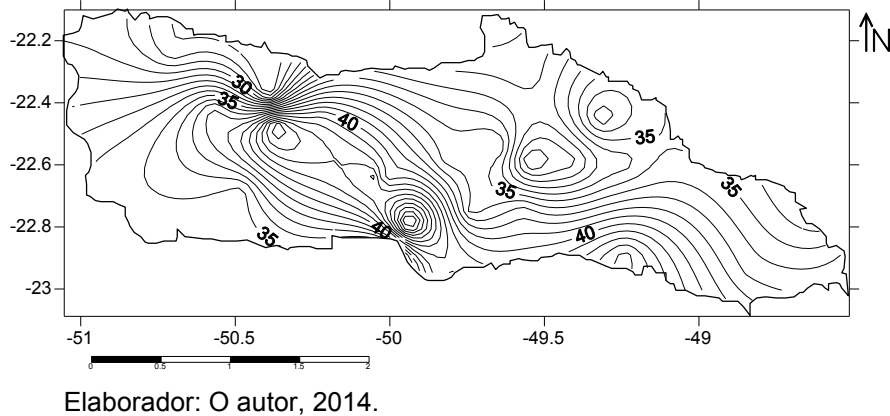


Figura 35 - Isoerodentes médias para o mês de agosto (MJ ha<sup>-1</sup> mm h<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010.

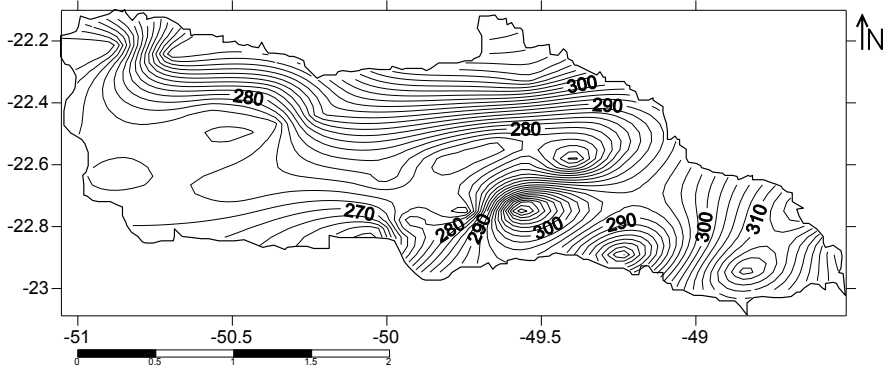


Comparando-se os três mapas pode-se observar que ocorreu uma variação de 40 MJ ha<sup>-1</sup> mm h<sup>-1</sup> mês<sup>-1</sup>. Os valores estão distribuídos de maneira homogênea, assim como na análise pluviométrica do período seco que possui os maiores valores médios localizados na porção oeste e sul do mapa (Figura 18). Os valores de erosividade, em geral, são bem mais baixos do que no trimestre úmido analisado. As chuvas desse período são estratiformes, caracterizadas por distribuição horizontal, sendo mais finas e contínuas. Esse aspecto reflete na erosividade, pois tais chuvas possuem um potencial erosivo muito menor quando comparado ao período úmido de muita convecção.

Dessa forma, os valores médios da erosividade da chuva nos meses de junho, julho e agosto são os mais baixos do ano e com pouca variação ao longo da Unidade, representando apenas 5 % da erosividade de todo ano, (Figura 33, 34 e 35). Nesse período o aporte de umidade proveniente da evaporação é bem menor sendo que a contribuição das chuvas orográficas também acaba sendo mais baixa, devido ao período de inverno. Assim, os valores médios mais altos localizam-se em uma área distinta do que no período úmido, no caso na porção oeste da área.

O mês de agosto, mais seco do ano, possui o menor potencial erosivo do ano, os valores de erosividade ficam em torno de  $35 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , em comparação com os  $900 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , do mês mais erosivo (janeiro), demonstrando assim o baixo potencial erosivo desse mês.

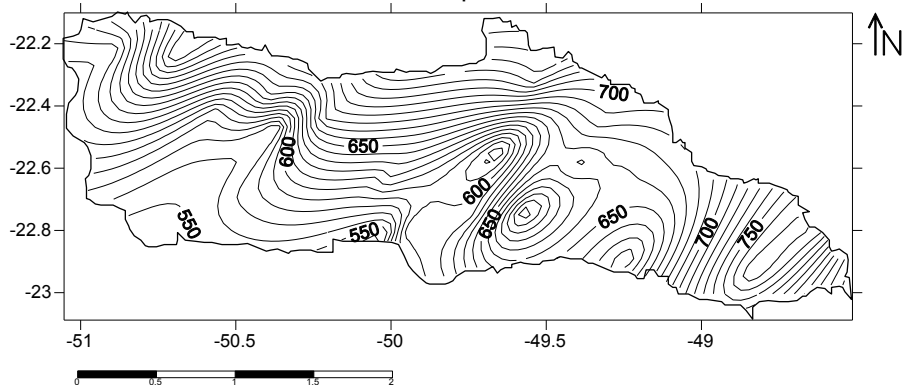
Figura 36 - Isoerodentes médias para de todo período analisado ( $\text{MJ há}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

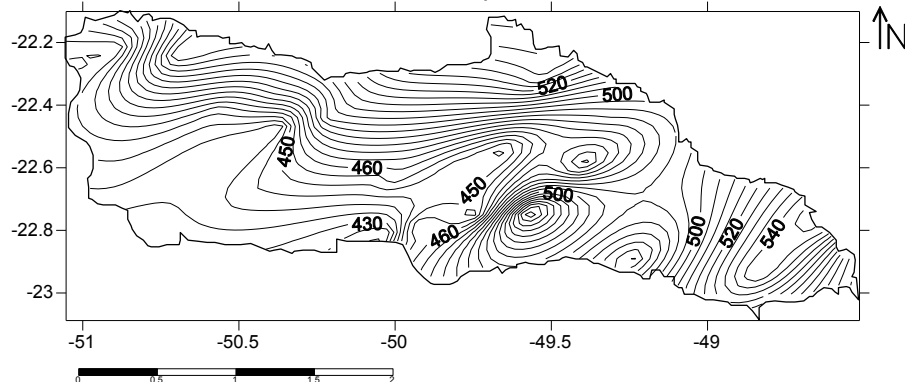
De acordo com a Figura 36 é possível observar a distribuição dos valores médios para o índice de erosividade da chuva, ao longo da Unidade para todo o período de estudo. Sobre essa distribuição, é interessante que primeiramente faça-se a correlação o mapa de média pluviométrica (Figura 14). Através dessa comparação pode-se afirmar que os dois mapas estão concordantes em relação à distribuição espacial dos valores. Os maiores valores estão localizados na porção norte e leste, com baixa amplitude ao longo da área. Novamente, faz-se a relação entre a erosividade da chuva e precipitação pluvial, pois nos locais onde há maior pluviosidade,  $1.500 \text{ mm}$  (Figura 14) ocorre os maiores índices de erosividade  $310 \text{ MJ mm ha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$  (Figura 37), na porção leste da UGRHI-17.

Figura 37 - Isoerodentes médias para o trimestre úmido ( $\text{MJ há}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

Figura 38 - Isoerodentes médias para o semestre úmido ( $\text{MJ ha}^{-1} \text{ mm h}^{-1} \text{ mês}^{-1}$ ) incidente sobre área de estudo no período de 1974 a 2010.



Elaborador: O autor, 2014.

Ambos os mapas apresentam valores maiores na parte leste e norte. No mapa sobre o período úmido trimestral a variação ao longo da bacia é um pouco maior que no período úmido semestral. Entre os dois mapas ocorre uma variação de  $210 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  (Figura 37 e 38).

Diferentemente do período do seco, o mapa de erosividade do período analisado em três meses possui valores médios maiores que a análise semestral, isso demonstra que as chuvas que ocorrem mais concentradas nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro possuem maior potencial erosivo que nos demais meses do período úmido. Além da forte atividade convectiva local, devido ao aquecimento e a presença de água ocorre ZCAS, faixa de nebulosidade proveniente da umidade da região amazônica, que influencia no aumento das chuvas nessa região nesses períodos de verão.

Os mapas representam os valores médios da erosividade, conforme o aumento do número de dados, de três para seis meses, ocorre um achatamento dos valores médios, explicando assim o motivo da análise no período maior possuir valores mais baixos, os (valores mais altos estão concentrados no período trimestral).

A seguir, a Tabela 3 irá trazer mais detalhadamente os índices médios de erosividade da chuva para cada estação analisada para os 12 meses do ano durante o período estudado.

Os dados apresentaram grande amplitude, observados pelos valores máximos e mínimos, com maior atenção para a erosividade no período seco, indicando existência de grande variabilidade, com erosividade média variando de  $29,5 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em Rancharia (mês de agosto) a  $1.050,9 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$  em Garça (mês de janeiro) (Tabela 3). Essa variabilidade é em decorrência da ausência de chuvas em alguns meses do período da seca, como discutido, contribuindo para uma maior variabilidade.

Tabela 3 - Valores médios de índice de erosividade (EI30) mensal (MJ mm ha<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup>) para o período de 1974 a 2010 na UGRHI-17.

	Índice de erosividade EI30												
	Jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	média
Rancharia	764,3	528,2	283,3	119,4	146,7	61,3	35,4	29,5	130,0	207,1	338,4	545,9	265,8
São Manuel	943,6	526,7	430,4	140,0	135,6	70,3	39,0	37,4	134,5	279,6	383,8	697,9	318,2
Faz. S. J. Morro Vermelho	988,5	593,4	434,7	114,6	138,4	63,7	39,7	32,2	125,6	234,9	336,6	740,6	320,2
Faz. Monte Alegre	893,7	530,6	333,9	131,3	170,2	77,2	45,0	37,2	124,8	237,6	283,2	551,7	284,7
Garça	1050,9	512,6	347,6	148,4	127,4	58,5	39,3	36,7	126,8	245,8	348,9	772,5	317,9
Marília	926,3	576,1	331,5	143,9	144,4	60,6	39,7	30,2	152,1	264,0	348,8	784,2	316,8
Gália	971,4	531,1	401,5	128,3	142,4	56,7	37,0	31,6	116,9	265,3	332,1	703,8	309,8
Cabralia Paulista	854,9	565,7	313,4	128,9	125,5	49,3	41,8	37,9	120,7	221,6	304,0	637,9	283,5
Paulistânia	792,8	468,3	292,2	136,3	121,0	62,0	37,8	30,7	120,9	187,5	292,4	674,9	268,1
Ribeirão do Sul	648,0	484,9	361,3	134,4	155,6	85,8	52,1	36,3	145,2	265,0	324,6	571,9	272,1
Águas de Santa Bárbara	809,1	471,0	350,0	124,3	122,2	77,2	46,0	33,4	141,6	252,1	298,8	699,4	285,4
Santa Cruz do Rio Pardo	720,3	463,3	354,8	135,2	140,3	76,8	42,0	51,6	153,4	271,4	304,1	651,9	280,4
Ourinhos	674,4	619,1	309,7	107,1	86,4	96,4	71,6	44,5	91,9	368,6	266,7	538,4	272,9
Faz. Lajeado	750,5	410,9	357,8	135,8	153,1	85,5	64,8	42,1	157,6	318,4	368,5	646,5	291,0
Areia Branca	709,3	466,3	300,2	112,0	164,0	65,4	44,4	35,6	156,9	277,1	293,2	644,9	272,4
São Pedro do Turvo	709,3	466,3	300,2	112,0	164,0	65,4	44,4	35,6	156,9	277,1	293,2	644,9	272,4
Faz. São Francisco	813,9	435,0	325,9	137,8	132,3	65,8	50,6	28,7	127,5	245,6	310,8	690,8	280,4
Faz. Nova Niagara	784,5	500,3	363,4	135,0	126,8	86,2	52,0	42,6	163,0	276,2	324,4	627,1	290,1
Agrop. Santo Antônio	782,1	546,0	319,4	142,8	131,5	57,3	34,2	25,8	142,3	255,8	317,5	623,6	281,5
Echaporã	817,8	531,4	364,1	130,3	136,7	65,4	38,5	40,9	139,1	257,7	287,7	690,2	291,6
Assis	766,0	452,8	325,7	129,9	177,0	78,8	42,0	44,4	149,5	232,1	338,8	595,8	277,7
Platina	720,1	516,0	287,5	154,2	141,6	79,6	50,3	40,2	144,4	285,9	317,5	624,1	280,1
Usina Pari	740,0	520,9	299,0	143,5	89,3	88,7	58,5	29,1	111,8	354,6	298,8	488,9	268,6
Porto Jaú	658,5	427,8	366,7	140,1	155,7	83,5	59,2	38,5	145,1	237,5	298,4	509,4	260,0
Sucui	662,7	475,2	368,2	137,8	166,2	100,3	52,8	46,2	149,1	264,7	307,0	538,4	272,4
Gardênia	728,6	469,6	356,3	140,6	174,7	91,0	49,5	34,6	155,4	240,3	338,1	523,3	275,2
Água da Fortuna	732,4	468,6	355,6	140,3	174,3	90,8	49,4	34,6	155,0	252,6	335,9	519,1	275,7
Quatã	914,6	574,4	296,5	127,6	139,7	63,1	36,5	27,2	144,7	222,5	384,9	671,2	300,2
Paraguaçu Paulista	717,8	469,6	298,3	138,0	138,2	78,3	42,0	38,4	149,2	266,1	387,6	561,3	273,7
Faz. Barra Mansa	858,8	547,8	264,1	140,2	131,9	63,9	39,3	29,0	132,2	251,0	354,8	555,2	280,7

Elaborador: O autor, 2014

De acordo com a Tabela 2, os maiores valores médios anuais de chuva são para cidades localizadas na porção leste e norte da Unidade, com valores acima da média das estações, como Botucatu (3), São Manuel(2), Garça (5) e Marília (6). Nesse caso, pode-se afirmar que a erosividade segue o mesmo comportamento em relação ao padrão das precipitações nessa região, coincidindo com as áreas de relevo mais irregular. Dessa forma, deve-se ter mais atenção ao potencial erosivo nessa área que tende a ser de mais alto risco.

Em uma análise mensal, o mês de outubro é o período onde o  $EI_{30}$  mais se assemelha a média em relação a todas as estações, enquanto o mês de janeiro e agosto é onde ocorrem as maiores amplitudes, afastado-se da média do índice de erosividade (Tabela 3).

O estudo da análise dos eventos extremos inicia-se primeiramente na obtenção dos valores máximos de chuva. Esses dados serviram de base para as etapas seguintes, os cálculos de distribuições de probabilidade e a verificação de tendências.

Os valores máximos pluviométricos, gerados através do *software DataConversion* para 8 das 30 estações utilizadas no projeto, fornece uma planilha com os máximos de cada ano e um gráfico que demonstra a evolução dos valores máximos de 1974 – 2010. A Tabela 4 demonstra o máximo diário anual para cada uma dessas estações.

Tabela 4 – Valores máximos diário anual de chuva de 1974 a 2010 na UGRHI-17.

Ano	2248026	2248029	2249008	2250048	2249058	2249060	2249034	2249023
1974	114,5	113,8	56,4	102,5	67,3	151,7	72,0	90,3
1975	136,2	176,2	80,3	45,7	64,6	123,6	41,0	66,7
1976	98,6	148,8	189,8	88,9	92,7	61,7	120,0	73,7
1977	131,4	134,0	215,0	100,1	62,3	94,5	57,0	155,2
1978	158,6	99,8	78,1	90,9	91,5	61,4	91,5	59,9
1979	40,5	71,2	130,1	102,9	74,6	73,5	82,0	80,0
1980	80,3	83,6	63,0	88,8	56,0	91,3	90,9	55,7
1981	111,7	127,7	118,0	108,8	75,3	89,5	73,0	57,0
1982	72,3	107,6	116,6	115,9	64,9	85,4	90,0	147,7
1983	88,9	81,7	106,8	114,7	87,5	155,3	67,0	89,6
1984	57,3	58,1	103,4	55,3	75,2	58,5	50,0	64,0
1985	74,3	148,6	81,3	56,8	53,0	92,2	63,0	70,3
1986	70,7	98,6	76,2	112,4	64,3	74,3	87,0	80,0
1987	94,5	86,5	93,2	96,6	75,7	72,0	64,5	66,8
1988	96,6	104,4	145,5	68,6	74,5	59,7	88,0	83,2
1989	110,7	87,3	96,7	80,8	90,8	69,2	83,5	104,0
1990	57,1	81,1	82,3	102,3	80,7	62,5	84,0	65,5
1991	81,1	103,7	80,3	73,5	166,3	114,7	105,0	75,0
1992	85,9	78,7	93,9	82,6	79,0	72,9	66,4	94,1
1993	93,8	103,2	72,9	76,3	64,0	62,3	70,1	48,3
1994	66,3	71,8	89,3	97,4	112,0	75,3	129,8	92,7
1995	69,2	80,5	101,5	117,7	67,6	117,7	74,8	84,8
1996	100,3	108,4	64,9	71,3	76,5	63,5	53,2	29,3
1997	117,7	68,5	115,9	83,4	94,8	125,6	56,5	42,4
1998	75,7	90,9	83,5	65,8	75,4	74,5	70,4	82,0
1999	63,5	60,9	95,6	162,2	126,5	85,8	67,1	61,0
2000	73,5	53,3	145,6	118,6	65,0	96,0	100,1	84,2
2001	88,9	81,9	85,6	63,2	56,5	115,9	80,0	115,0
2002	76,7	85,9	62,4	80,4	120,0	100,5	95,0	92,0

Elaborador: O autor, 2014.

Tabela 4- "Continuação".

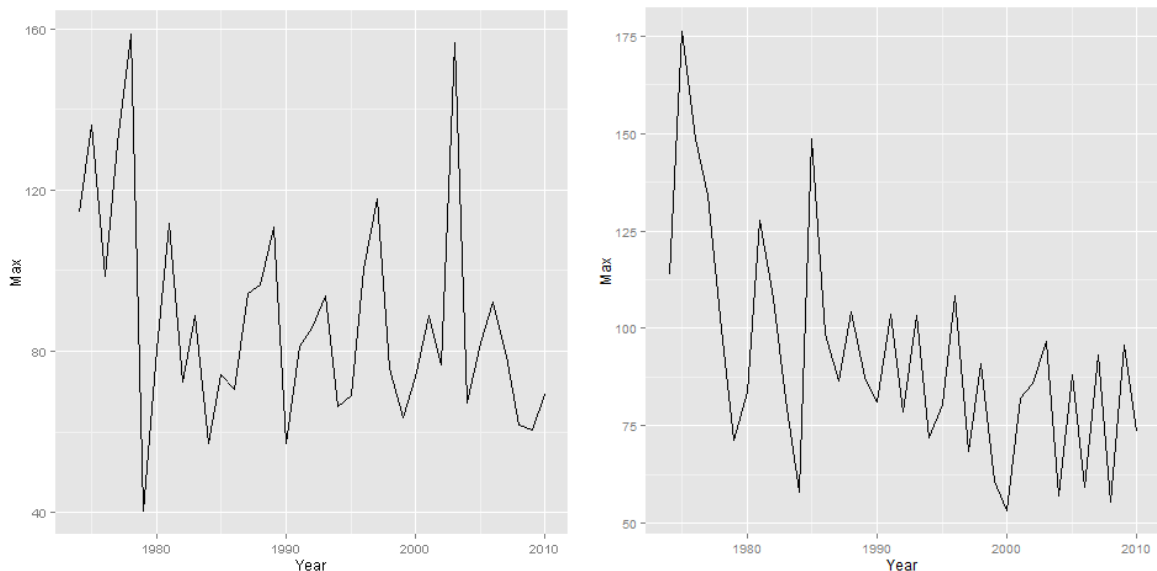
2003	156,7	96,6	160,0	120,0	96,5	55,4	62,7	70,0
2004	67,3	57,1	61,1	66,2	108,0	94,9	105,0	68,0
2005	82,3	88,1	59,1	109,0	110,0	77,0	59,0	107,0
2006	92,3	59,2	110,0	80,0	59,2	122,7	96,3	160,0
2007	78,7	93,1	96,2	49,2	69,8	50,0	82,3	71,0
2008	61,8	55,4	87,2	53,4	99,7	55,0	69,8	81,5
2009	60,5	95,6	102,2	64,2	91,0	110,1	83,3	86,5
2010	69,3	73,5	86,6	64,2	54,7	84,1	91,3	140,0

Elaborador: O autor, 2014.

Os valores máximos diários de chuva variam entre 215 mm e 29,3 mm, para as cidades de Marília e Cabrália Paulista, respectivamente. Interessante notar que ocorrem nesses anos o fenômeno El Niño e La Niña, o que contribui para inferência desses resultados. Entre 1976 e 1977 (ano de El Niño), ocorreram valores máximos elevados para as oito estações, se comparado ao restante da série.

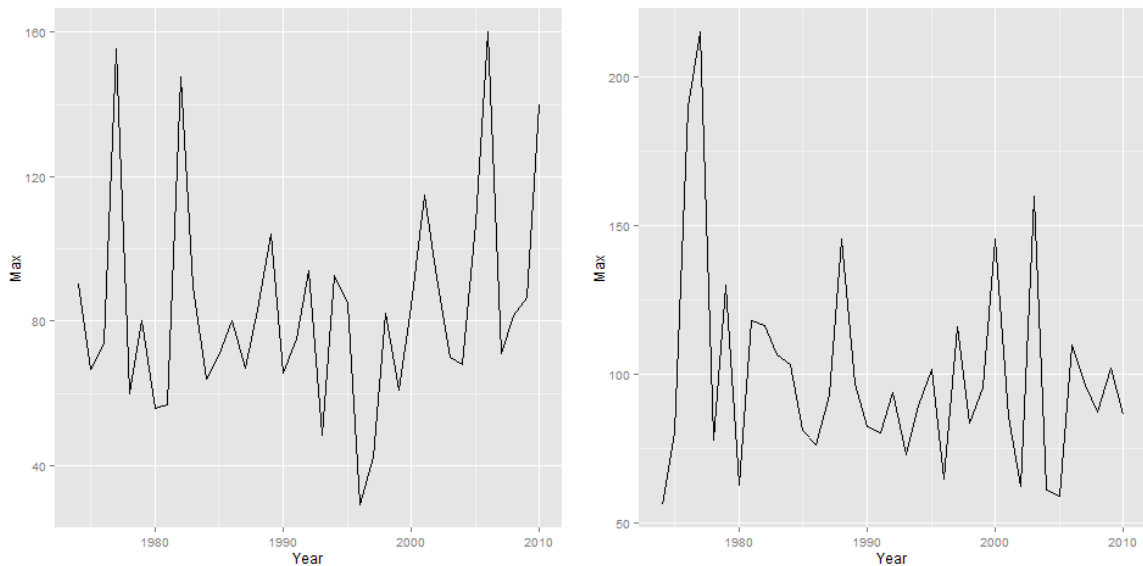
Através dos gráficos a seguir, é possível visualizar a variação dos valores máximos de chuva no decorrer dos anos em quatro cidades na Unidade. É possível ver que esses valores não possuem uma distribuição totalmente homogênea, demonstrando certos picos dentre os anos (Figuras 39 e 40).

Figura 39 - Gráficos dos máximos de chuvas, entre os anos de 1974- 2010 na estação de São Manuel (2248026) e Botucatu (2248029), SP.



Elaborador: O autor, 2014.

Figura 40 - Gráficos dos máximos de chuvas, entre os anos de 1974- 2010 na estação de Cabrália Paulista (2249023) e Marília, (2249008), SP.



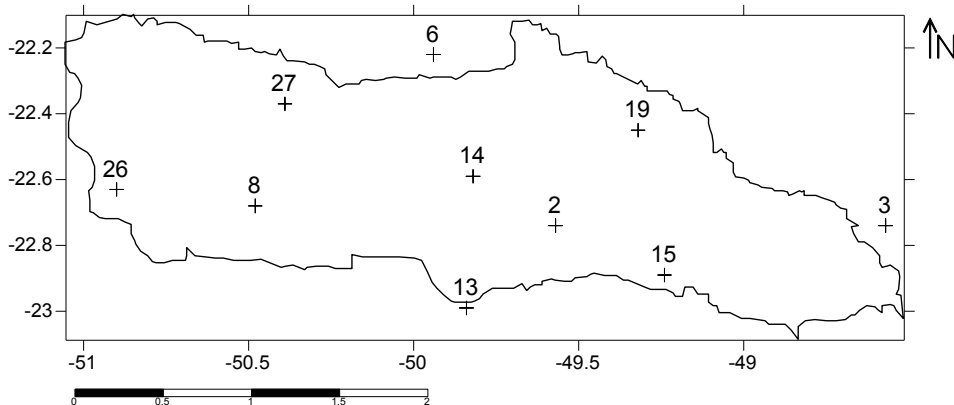
Elaborador: O autor, 2014.

Nas quatro cidades, o gráfico apontou picos entre os anos de 1976-1977, essa situação pode ser explicada pela fase de aquecimento das águas do Pacífico Sul que acarreta mais chuvas nessa faixa latitudinal do qual é característica do fenômeno El Niño. Na cidade de Marília e Botucatu, ocorreram valores de 215 mm e 176 mm (Tabela 4). Outros picos ocorridos em São Manuel e Cabrália Paulista também se relacionam com fenômeno ENOS, com 153 mm (2003) e 160 mm (2006).

No caso do período de La Niña, o fenômeno pode ser visto para o ano de 1996, pelo gráfico da cidade de Cabrália Paulista em 1996 onde ocorre um valor máximo de chuva abaixo de 40 mm.

A Figura 41 demonstra a localização das estações utilizadas nessa etapa do estudo na Unidade.

Figura 41- Localização das estações utilizadas para análise dos eventos extremos na UGRHI-17.



Elaborador: O autor, 2014.

Tabela 5 – Meses de ocorrência dos extremos pluviométricos entre 1974-2010 na UGRHI-17.

Ano	2248026	2248029	2249008	2250048	2249058	2249060	2249034	2249023
1974	jan	mar	dez	dez	dez	dez	jan	dez
1975	nov	nov	fev	nov	nov	nov	nov	nov
1976	nov	dez	out	dez	dez	dez	mar	dez
1977	dez	dez	dez	jan	jan	dez	out	dez
1978	mar	mar	nov	jan	dez	dez	dez	mar
1979	dez	dez	abr	mar	dez	dez	dez	nov
1980	dez	dez	fev	fev	fev	fev	fev	dez
1981	jan	jan	jan	jan	dez	jan	fev	jan
1982	dez	dez	out	dez	dez	jan	fev	fev
1983	jan	jan	jan	mai	mai	mai	dez	mai
1984	jan	jan	dez	dez	mar	jan	jan	dez
1985	fev	mar	abr	jan	dez	fev	jan	fev
1986	dez	dez	fev	mar	dez	dez	dez	dez
1987	nov	nov	jan	mai	jun	nov	jan	nov
1988	jan	jan	jan	out	mar	jan	mai	out
1989	jan	jan	dez	jan	jan	jan	jan	jan
1990	jan	jan	jan	jan	jan	jan	mai	jan
1991	mar	mar	fev	jan	fev	fev	jul	jan
1992	fev	mar	abr	mar	mar	abr	dez	dez
1993	fev	fev	fev	fev	fev	fev	jan	fev
1994	dez	jan	jan	fev	nov	dez	jan	jan
1995	fev	jan	fev	jan	jan	fev	jan	fev
1996	dez	dez	dez	dez	dez	dez	mar	mar
1997	jan	jan	jan	jan	jan	jan	mar	nov
1998	fev	dez	fev	mar	fev	fev	fev	dez
1999	jan	jan	jan	jan	jan	fev	jan	jan
2000	fev	fev	nov	fev	fev	fev	out	fev
2001	jan	fev	dez	fev	fev	dez	jan	jan
2002	jan	jan	nov	nov	jan	jan	jan	nov
2003	mar	jan	jan	fev	nov	jan	nov	jan
2004	jan	jan	jan	jan	out	jan	dez	jan
2005	jan	jan	jan	jan	jan	jan	dez	jan
2006	fev	fev	fev	dez	dez	fev	jan	fev
2007	jan	jan	jan	jan	jan	jan	dez	jan
2008	fev	jan	dez	jan	jan	fev	dez	jan
2009	dez	dez	jan	jan	jan	dez	nov	dez
2010	jan	jan	jan	jan	jan	jan	dez	jan

Elaborador: O autor, 2014.

A Tabela 5 demonstra os meses em que ocorreram as chuvas máximas utilizadas na análise dos eventos extremos. De 1974 a 2010, pode-se verificar a maior incidência de extremos pluviométricos nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. Esse período do ano

é marcado pela alta taxa de pluviosidade caracterizada pelo clima tropical do qual está localizada a Unidade, com verões chuvosos.

O trimestre de dezembro a fevereiro foi responsável pelos altos registros de chuva. Ao longo do estudo, pode-se verificar que os valores pluviométricos encontrados nesses meses são os que explicam a média de 1.381 mm no ano, contrabalanceando o período seco do ano, pelos meses de junho, julho e agosto, com médias que não ultrapassam 350 mm.

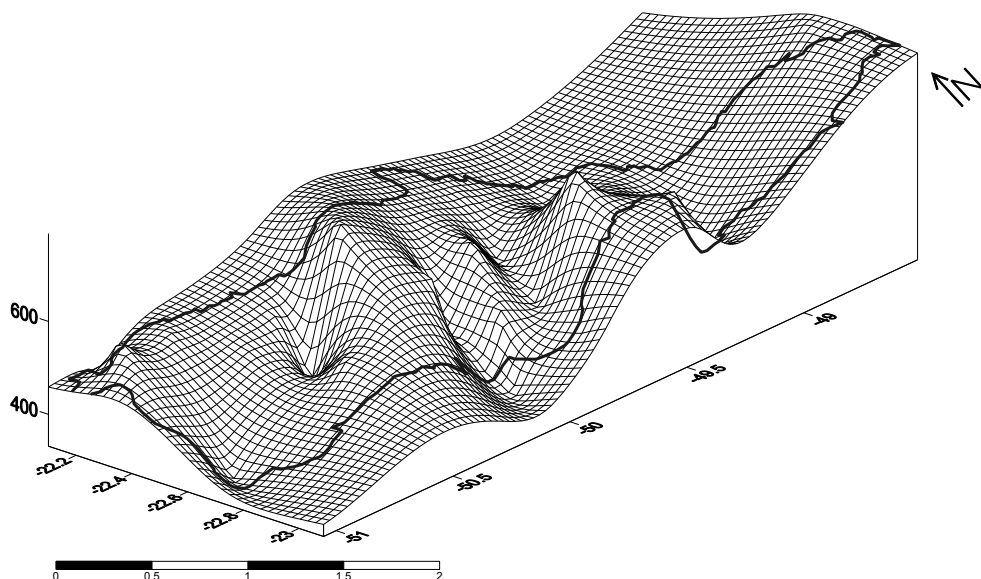
Assim, a elevada ocorrência de máximos de chuva entre meses de dezembro a fevereiro deve-se também a outro fator importante, a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), responsável por trazer a umidade proveniente da região Amazônica ao sudeste, explicando os altos níveis de chuva nessa época do ano.

Através da Tabela 5, os meses em que ocorrem os extremos apresentam variação, de 1974 a 1986 o mês de dezembro ocorre na maior parte das estações analisadas. A partir de 1988, a presença do mês de janeiro é mais marcada ao longo do ano pelas estações, colocando-se com 38 % dentre os 37 anos e o mês de dezembro em 20 % das estações meteorológicas.

Assim nos nove meses restante do ano, ocorrem somente 27 % dos eventos pluviais extremos. Isso demonstra que as chuvas convectivas características do verão e os eventos ZCAS possuem uma forte influência na ocorrência dos eventos extremos na UGRHI-17.

A seguir, o mapa que demonstra o relevo da UGRHI-17.

Figura 42 - Mapa tridimensional da altitude da UGRHI-17.



Elaborador: O autor, 2014.

No mapa da Figura 42 pode-se observar as maiores altitudes da Unidade, que estão localizados mais ao leste e ao noroeste. Esses locais coincidem com os trechos onde as precipitações máximas são mais acentuadas, como no caso de Assis e Marília. A cidade de Botucatu e São Manuel estão localizadas no pólo cuesta, isto é, na borda da bacia hidrográfica do Paranapanema onde apresenta-se um relevo bem acidentado, com altitudes bastante elevadas.

Essa configuração orográfica, principalmente na área de cuesta, revela os pontos de maiores precipitação, conseqüentemente locais de chuvas máximas. Essas chuvas são acentuadas devido à influência da forçante orográfica que provoca mais chuvas, nessa porção oriental.

Além disso, é importante resgatar a relação chuva e erosão, principalmente em se tratando dos eventos extremos. A possibilidade de ocorrência de erosão hídrica provoca pela enxurrada é muito maior nessas áreas. Conforme analisado anteriormente, a erosividade da chuva possui uma taxa alta nas áreas de maior altitude, principalmente na região Leste. Considerando que as precipitações máximas são de mais intensidade, logo ocorre maior probabilidade de perda de solo por erosividade.

Após a obtenção dos valores máximos pluviométricos e uma breve análise em sua distribuição, o estudo segue para o cálculo do período de retorno e probabilidade para que se possa compreender a regularidade que esses eventos extremos ocorrem durante um determinado tempo.

Os cálculos de distribuição de probabilidade são capazes de fornecer esses resultados através de diferentes funções de distribuições. As utilizadas nesse trabalho foram: Log-normal, Log-Pearson tipo III e Gumbel. Para cada uma foram utilizadas suas respectivas equações e efetuados cálculos para os 25 anos, 50 anos, 100 anos e 1.000 anos.

As equações funcionam a partir da estipulação do período de retorno, dados em anos. A série de dados obtida pelo pacote *DataConversion*, foram máximos para se trabalhar nos equações. Todas essas equações possuem com base a fórmula geral de Ven Te Chow, do qual possui essencialmente variáveis de média, desvio padrão e um fator de frequência tabelado conforme a distribuição de probabilidades em função do período de retorno  $T$ , como parâmetros no cálculo das funções de distribuição (Anexo ).

Tabelas 6 e 7 – Distribuições de probabilidade nas estações da cidade de Marília e São Manuel, respectivamente.

distribuição	período de retorno (T)			
	25	50	100	1000
log normal	158,5	182,0	199,5	255,3
log pearson III	176,2	201,8	229,4	337,3
Gumbel	191,0	190,6	209,7	272,6

distribuição	período de retorno (T)			
	25	50	100	1000
log normal	138,0	151,4	164,4	206,1
log pearson III	141,9	156,9	172,0	224,5
Gumbel	143,2	158,0	172,0	221,3

Elaborador: O autor, 2014.

Tabelas 8 e 9 - Distribuições de probabilidade nas estações da cidade Botucatu e Assis, respectivamente.

distribuição	período de retorno (T)			
	25	50	100	1000
log normal	146,5	165,7	172,8	215,1
log pearson III	147,7	163,7	180,1	238,3
Gumbel	148,9	164,4	179,5	229,4

distribuição	período de retorno (T)			
	25	50	100	1000
log normal	139,6	152,5	165,0	206,1
log pearson III	136,8	148,6	173,0	195,7
Gumbel	138,5	152,4	166,1	211,2

Elaborador: O autor, 2014.

Tabelas 10 e 11 Distribuições de probabilidade nas estações da cidade Ourinhos II e São Pedro do Turvo, respectivamente.

distribuição	período de retorno (T)			
	25	50	100	1000
log normal	125,5	135,8	145,8	178,0
log pearson III	79,9	80,1	80,2	80,5
Gumbel	130,7	143,7	156,6	199,2

distribuição	período de retorno (T)			
	25	50	100	1000
log normal	89,3	90,4	91,3	94,0
log pearson III	309,2	443,2	633,8	384,4
Gumbel	319,6	374,9	429,9	611,5

Elaborador: O autor, 2014.

Tabelas 12 e 13- Distribuições de probabilidade nas estações da cidade Ourinhos I e Cabralia Paulista, respectivamente.

distribuição	período de retorno (T)			
	25	50	100	1000
log normal	118,1	127,3	136,1	164,3
log pearson III	116,1	123,9	131,2	153,3
Gumbel	118,1	128,8	139,2	173,6

distribuição	período de retorno (T)			
	25	50	100	1000
log normal	144,7	160,7	176,6	230,0
log pearson III	157,7	174,0	189,8	241,7
Gumbel	131,2	144,1	156,8	198,7

Elaborador: O autor, 2014.

Analisando as distribuições de probabilidade, as funções apresentam resultados distintos para os quatro períodos de retorno, porém com resultados numericamente próximos. Em alguns casos, a função de Gumbel apresentou os maiores valores, em outros a função Log-Pearson tipo III. Na maioria, os menores valores apareceram pela função Log-normal. Entretanto, esses resultados não podem ser vistos como regra, pois não houve qualquer tipo de padrão entre os dados.

Por exemplo, na tabela 8 vê-se a distribuição de Log Normal mostra que há a probabilidade de ocorrer uma chuva de 146,5 mm no período de 25 anos. Na distribuição de Log Pearson tipo III, para o mesmo período de retorno, a probabilidade é que ocorra

uma chuva de 147,7 mm e a distribuição Gumbel indica um valor um pouco acima, de 148,9 mm.

Ainda na tabela 8, para o período de retorno de 100 anos, a distribuição de Log Pearson tipo III aponta a maior precipitação, de 180,1 mm. Enquanto a Log normal é de 172,8 mm e a Gumbel 179,5 mm.

Dessa forma, é apresentado o período de retorno para 25, 50, 100 e 1.000 anos pelas funções de distribuição, com resultados distintos para a precipitação máxima pluviométrica. Foi realizado um teste de aderência para se verificar qual das funções de distribuição de probabilidade se encaixa melhor no conjunto de dados analisados.

Para isso, o Teste de *Kolmogorov-Smirnov* foi utilizado para medir a compatibilidade da amostra com as funções de distribuição. Através do *software Easyfit*, criou-se um ranking dentre as melhores funções para cada uma das estações.

Assim, pode se descobrir que 50 % das análises apresentaram um melhor ajuste para sua respectiva amostra pela distribuição de Log-Pearson tipo III. Além disso, para essa etapa de verificação inseriu-se a distribuição de GEV para o teste de aderência. Essa função apresentou-se, em segundo lugar, no melhor ajuste para o conjunto de dados dentre as demais distribuições. O ranking dos resultados é visto pela tabela a seguir:

Tabela 14 – Ranking entre a função de distribuição de probabilidade.

Localidade da estação	Teste de Kolmogorov-Smirnov			
	Log-Normal	Log- Pearson III	Gumbel	GEV
Marília	4º	1º	3º	2º
São Manuel	4º	3º	2º	1º
Botucatu	1º	3º	2º	4º
Assis	3º	2º	4º	1º
Ourinhos I	4º	1º	3º	2º
São Pedro do Turvo	4º	1º	3º	2º
Ourinhos II	4º	1º	3º	2º
Cabralia Paulista	4º	1º	3º	2º

Elaborador: O autor, 2014.

O conjunto de dados das cidades de Ourinhos I, São Pedro do Turvo, Ourinhos II e Cabralia Paulista apresentaram os mesmos resultados no *ranking* entre as funções. A que em geral mais se ajustou dentre elas foi a de Log-Pearson tipo III, apresentando-se em 62,5 % das cidades e a Log-normal em quarta posição. Em geral, a função de GEV apareceu em segunda posição na maior parte das cidades e a Log-Normal foi a função de menor ajuste entre os dados (Tabela 14).

Esses resultados diferenciam-se das análises realizadas por Osborn *et al.*, (1980) *apud* Back (2001), que, por exemplo, submeteram séries de valores máximos anuais de chuva às distribuições de Gumbel, Log-normal, Pearson tipo III e Log- Pearson tipo III e observaram que a distribuição que melhor se ajustou aos dados de cada série disponível, foi a distribuição de Gumbel.

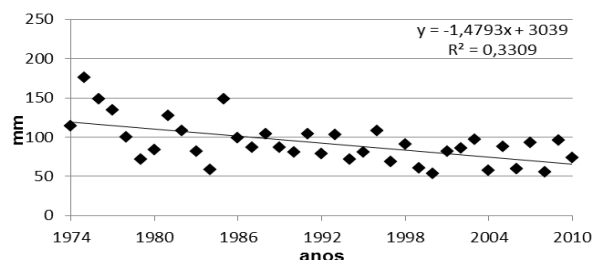
Dessa forma, o estudo das distribuições teóricas de probabilidade em análise de chuvas máximas, pode fornecer resultados distintos em relação ao conjunto de dados em questão, mas demonstra que há efetividade da metodologia nesse tipo de estudo. Assim, conforme o trabalho de Damé *et al.*, (1996), nesse estudo as distribuições ocupam diferentes colocações no ranking de ajuste, porém todas demonstraram-se capazes de representar a amostra.

Assim, com o teste de *Kolmogorov-Smirnov*, pode-se prever que para esse tipo de análise de probabilidades entre dados máximos de chuva, existem diversas funções de distribuição de probabilidade. No caso desse trabalho, a função de Log-Pearson tipo II foi que se apresentou mais efetiva nessa análise.

Em seguida, é realizada outra análise acerca dos eventos extremos. Observou-se, nos gráficos a seguir, a relação entre o conjunto de dados pluviométricos e os 37 anos estudados. Através da análise de regressão linear (simples), pode-se estimar a dependência existente entre os dados de precipitação ao longo dos anos (PARIZOTTO, 2008, p. 53).

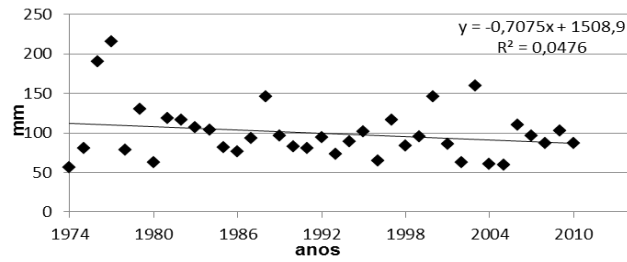
Os gráficos de dispersão irão demonstrar a disposição dos dados em relação à variação das chuvas máximas ou longo dos 37 anos analisados. O gráfico fornece, além da reta de ajuste, seus respectivos valores de  $R^2$  (coeficiente de determinação) (Figuras 43 a 46).

Figura 43 - Análise de regressão linear na estação da cidade de Botucatu.



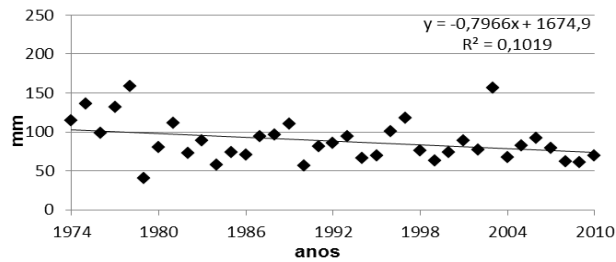
Elaborador: O autor, 2014.

Figura 44 - Análise de regressão linear na estação da cidade de Marília.



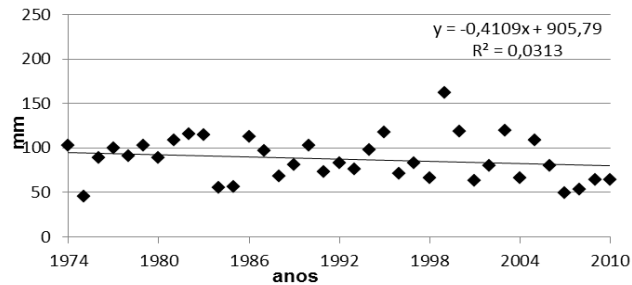
Elaborador: O autor, 2014.

Figura 45 - Análise de regressão linear na estação da cidade de São Manuel.



Elaborador: O autor, 2014.

Figura 46 - Análise de regressão linear na estação da cidade de Assis.



Elaborador: O autor, 2014.

Observou-se que a distribuição dos dados ao longo dos anos não apresentou tendência significativa, pois  $R^2$  revelou-se muito abaixo de 1, demonstrando que não ocorreu tendências nessa análise de dados ao longo dos anos. Dessa forma, as precipitações máximas não apresentaram uma tendência nem positiva nem negativa, ou seja, não houve tendência para o aumento ou diminuição das chuvas no período de 1974 a 2010.

Os resultados em relação a reta de ajuste e ao  $R^2$  é melhor visualizado pela Tabela 15.

Tabela 15 - Quadro com as equações das retas e o R<sup>2</sup> das estações pluviométricas.

	Equação da reta	R <sup>2</sup>
Botucatu	$y = -1,4793x + 3039$	0,3309
Marília	$y = -0,7075x + 1508,9$	0,0476
São Manuel	$y = -0,7966x + 1674,9$	0,1019
Assis	$y = -0,4109x + 905,79$	0,0313

Elaborador: O autor, 2014.

Pode-se inferir através da tabela que as chuvas na área de estudo não apresentaram tendência. Os valores observados para R<sup>2</sup> são muito baixos. A cidade de Botucatu foi a que apresentou o melhor de ajuste, mas de apenas 33 %.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Sabe-se que o período em que ocorre maior taxa de erosão é na época mais chuvosa do ano na qual apresenta os valores máximos de chuva, portanto elevada intensidade de erosão hídrica.

Dessa forma, buscou-se no projeto partir da relação entre precipitação pluvial intensa e erosividade da chuva para se realizar uma análise relativa aos eventos extremos de chuva e o processo de perda de solo.

Partiu-se do estudo da análise da variabilidade climática sobre o comportamento da precipitação pluvial na UGRHI-17 entre 1974 a 2010. Verificou-se que essa distribuição respeitava a uma variabilidade anual, sazonal e espacial.

Os fenômenos meteorológicos atmosféricos foram fundamentais na caracterização da variabilidade dos valores de precipitação pluviométrica dentre as análises temporais. O ENOS (Oscilação Sul) assim como a ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) foram importantes para se relacionar a variação dos valores de chuva dentre os anos.

Assim pode-se verificar que é marcada a diferença de valores entre as análises do período seco e úmido, tanto trimestral quanto semestral. Pode-se observar a clara influência da atividade convectiva que ocorre no verão além da correlação com o fenômeno ZCAS nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro.

Foi considerado assim que os fenômenos ENOS e ZCAS implicavam na elevação das médias pluviométricas, assim como a localização dos postos meteorológicos. A geomorfologia da Unidade, identificada através das isolinhas de altitudes, demonstra um aumento dos valores de chuva na região de cuesta da bacia hidrográfica do Médio Paranapanema.

Ao longo dos anos analisados, pode-se perceber a variação da precipitação nos anos em que ocorreram El Niño e La Niña, observando assim a interferência do

aquecimento das águas do oceano Pacífico na acentuação das médias pluviométricas em anos como 1983 e 2009 em que, por exemplo, houve o El Niño.

Diversos cálculos estatísticos foram feitos e alguns *softwares* foram utilizados para essas análises. Em geral, os *softwares* foram bem importantes para os procedimentos, visto pela simplicidade de manejo e aplicação. Fornecendo resultados e considerações importantes para o estudo dos eventos extremos de precipitação, além de ter sido fundamental na preparação dos dados.

A caracterização dos valores de índices de erosividade foi correlacionada aos de precipitação. A análise pautou-se em identificar como as distribuições dessas duas variáveis estavam proporcionalmente integradas, identificando um regime de causa e consequência. Assim adicionou-se a observação do espaço geográfico sobre esses resultados, demonstrando como de fato esses valores numéricos de precipitação e erosividade podem interferir nas atividades humanas existentes nessa região.

A análise da erosividade da chuva na Unidade apresentou-se indispensável para determinação do potencial erosivo da região, visto que estão diretamente relacionados à dinâmica climatológica da região, os valores médios de erosividade podem ser claramente correlacionados com o comportamento das chuvas, visualizado através da distribuição espacial dos índices pelas isoerodentes.

O comportamento do potencial erosivo na UGRHI-17 é de fundamental importância para melhoria na capacidade de manejo do solo e assim de funções ligadas a agricultura, visando à preservação de recursos naturais.

Dessa forma, a atividade erosividade proporcionada pela chuva é acentuada em períodos em que ocorrem as chuvas máximas. Foi visto que os eventos extremos de precipitação são preponderantes na determinação da erosividade. Em uma área, como a UGRHI-17, com sua atividade econômica expressivamente agrícola, isso pode ser caracterizar como um fenômeno de grandes perdas de solo.

Além disso, o estudo das distribuições teóricas de probabilidade é um importante método de previsão desse tipo de prejuízos. O cálculo do período de retorno para os eventos máximos de chuva é importante para evitar impactos negativos, pois dessa forma pode-se ter um parâmetro do comportamento climatológico dessas precipitações intensas.

## 7. REFERÊNCIAS

AMORIN, R. C. F.; RICIERI, R. P.; JÚNIOR, R. S S ; GNOATTO, E. **Determinação do período de retorno e precipitação pluviométrica por meio da distribuição de Gumbel para região de Cascavel/PR.** In: XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2002, Foz de Iguaçu, PR. Disponível em: <<http://www.cbmet.com/cbm-files/11-47d1ad0e8948c52643fb300e56c777b6.pdf>>. Acesso em: 17 de abr. 2014.

ANJOS, I. B. **Análise da precipitação pluviométrica e balanço hídrico em Maringá- PR.** [s.l.] 2003. Disponível em: <<http://www.ourinhos.unesp.br/Home/Pesquisa/GruposdeEstudo/Clima/Simposios/076.pdf>>. Acesso em 05 nov. 2014.

**AGÊNCIA nacional de águas - ANA.** *Hidroweb* - Sistemas de informações hidrológicas. <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em : 04 jul.2013

ARAI, F. K; GONÇALVES, G.; PEREIRA, S. B.; COMUNELLO, E.; VITORINO, A. C.; DANIEL, O. **Espacialização da precipitação e erosividade na Bacia Hidrográfica do Rio Dourados, MS.** In: Engenharia Agrícola, v.30, p.922-931. Jaboticabal, SP, 2010. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162010000500014&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-69162010000500014&script=sci_arttext)> Acesso em: 09 out. 2014.

ARAÚJO, E. M; ARAÚJO, E. M.; OLIVEIRA, J. B.; SILVA, M. G.; VIANA, P. C.; ALVES, A. S. **Aplicação de distribuições de probabilidade a séries de temperatura máxima em Iguatu-CE.** In: REVISTA CIÊNCIA AGRONÔMICA, v. 41, n. 1, 2010. Disponível em: <<http://ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/viewFile/445/404>> Acesso em: 24 jan. 2014.

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos, 8 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

AZEVEDO, F. Z. *et al.* **Gestão dos Recursos Hídricos no Estado de São Paulo.** In: I SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORTE E CENTRO OESTE. Cuiabá, MT, 2007. Disponível em: <<http://www.abrh.org.br/sgcv3/index.php?PUB=3&ID=19>>. Acesso em: 29 out. 2014.

BALDO M. C. **Variabilidade pluviométrica e a dinâmica atmosférica na Bacia Hidrográfica do Rio Ivaí, PR.** Tese (doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2006.

BALDO, M. C. **Análise pluviométrica de Santa Catarina associada a anomalia da TSM do Pacífico.** Monografia de Bacharelado em Geografia – DGE/UEM. Maringá, 2000.

BACK, A. J. **Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas.** In: Pesquisa Agropecuária BRASILEIRA, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/19118/1/pab0717.pdf>>. Acesso em: 12 mar. 2014.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** São Paulo: Ícone - 5ª ed. 2005.

BEIJO, L. A.; AVELAR, F. G. **Distribuição Generalizada de Valores Extremos no estudo de dados climáticos: uma breve revisão e aplicação.** In: REVISTA DA ESTATÍSTICA UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO, v. 1, n. 2011 - X, 2010. Disponível

em:<<http://www.cead.ufop.br/jornal/index.php/rest/article/view/58>>. Acesso em: 01 abr. 2014.

BRITO, A. C. C.; BEZERRA, R. R.; RUDKE, A. P.; ROSA, A. L. D. **Análise de eventos pluviométricos extremos do município de Chupinguaia, RO.** In: CONGRESSO SOBRE RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA OCIDENTAL- SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL. 2012. Disponível em: <<http://www.periodicos.unir.br/index.php/rolimdemoura/article/view/530/582>> Acesso em: 30 jan. 2013.

CABRAL, J. B. P.; BECEGATO, V. A.; ASSUNÇÃO, H. F.; NETO, S. L. R. **Monitoramento da erosividade na área do reservatório da hidrelétrica de Cachoeira Dourada, GO/MG.** In: GEOSUL, Florianópolis, SC. v.22, n.44, p 47-65 jul./dez. 2007. Disponível em: <[file:///C:/Users/Aluno/Downloads/12609-40076-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Aluno/Downloads/12609-40076-1-PB%20(1).pdf)>. Acesso em: 21 out. 2014.

CALBETE, N. O.; CALBETE, S. R.; ROZANTE, J. R.; LEMOS, C. F. **Precipitações intensas ocorridas no período de 1986 a 1996 no Brasil.** In: Climanálise - BOLETIM DE MONITORAMENTO E ANÁLISE CLIMÁTICA. EDIÇÃO ESPECIAL Comemorativa de 10 Anos. Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), 1996. Disponível em: <<http://climanalise.cptec.inpe.br/~rclimanl/boletim/cliesp10a/11.html>> Acesso em: 21 de out. 2014.

CARVALHO, D. F.; MACHADO, R.L.; EVANGELISTA, A. W. P.; JÚNIOR, J. K. K.; SILVA, L. D. B. **Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ.** In: REVISTA BRASILEIRA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL, v.9, n.1, p. 7-14. Campina Grande, PB. 2005. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662005000100002&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662005000100002&script=sci_arttext)>. Acesso em: 09 out. 2014

CARVALHO, M. P. **Erosividade da chuva: distribuição e correlação com as perdas de solo em Mococa (SP).** Piracicaba, escola superior de agricultuta “Luiz de Queiroz”. Tese (mestrado), 1987

CARVALHO, M. P; HERNANI L. C. **Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com perdas de solo e erodibilidade de um latossolo roxo de Dourados (MS).** In: REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS DE SOLO. Viçosa, MG. V.25, pp. 137-146, 2001.

CATALUNHA, M. J.; SEDYAMA, G. C.; LEAL, B. G.; SOARES, C. P. B.; RIBEIRO, A. **Avaliação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial no Estado de Minas Gerais.** In: REVISTA BRASILEIRA DE AGROMETEOROLOGIA, v. 10, n. 1, p. 153-162, 2002. Disponível em: <<http://www.grupointec.com.br/grupo/pt/aplica%C3%A7%C3%A3o%20de%20cinco%20fun%C3%A7%C3%B5es%20densidade%20de%20probabilidade%20a%20series%20de%20precipita%C3%A7%C3%A3o%20pluvial%20no%20estado%20de%20minas%20gerais.pdf>> Acesso em: 05 mar. 2014.

**CBH-MP - Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema, 2000.** UGRHI-17 – Relatório Zero, CBH-MP – Marília-SP, 2000.

**CBH-MP - Comitê da Bacia Hidrográfica do Médio Paranapanema.** Disponível em: <<http://paranapanema.org/ugrh/comites/sp/cbhmp/>>. Acesso em: 28 out. 2014

**CPTEC- Centro de previsão de tempo e estudos climáticos/ INPE.** Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 10 nov. 2014.

COGO, C. M.; ELTS, F. L. F.; CASSOL, E. A.; SANTOS, M. V. **Erosividade das chuvas de Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI30, no período 1963-1990.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. Ribeirão Preto, 2003. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/ppgcs/congressos/LINKS%20DO%20CBCS%202003/CBCS2003%20EM%20PDF/34.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2014.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C.F. A.; SOUTO, M. V.; MOREIRA, N. M. **Análise de frequência hidrológica dos dados de precipitação pluvial de algumas estações agroclimatólogicas da região sul do Rio Grande do Sul.** In: REVISTA CIÊNCIA RURAL, Santa Maria, v. 26, n.3, p351-255. 1996. Disponível: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84781996000300001&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-84781996000300001&script=sci_arttext)> Acesso em: 17 abr. 2014.

**EMBRAPA/ ageitec. – Agência Embrapa de informação tecnológica.** Disponível em <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio\\_mata\\_sul\\_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7k02wx7ha087apz2axe8nfr.html)>. Acesso em: 05 nov. 2014.

FREIRE, O.; TOMMASSELLI, J. T. G.; MIZUZAKI, M. Y.; BARRIOS, N. A. Z.; SUDO, H.; PEREIRA, V. P. **Erosividade da chuva na região de Presidente Prudente-SP.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 3., **Anais...**Londrina-PR: UEL. V.1. 1991.

GUIJARRO, J. A. *Climatol: Software libre para La depuración y homogeneización de datos climatológicos.* Instituto Nacional de Meteorología. (Centro Meteorológico en Illes Balears, Palma de Mallorca), 2006. Disponível em: <http://webs.ono.com/jaguijarro/climatol.pdf>. Acesso em: 24 ago. 2011.

JUNIOR, C. M.; COLTRI, P. P.; SOARES, S. C. **Características da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e suas possíveis influências na Agricultura.** In: Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/ INPE). 2008. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/noticias/noticia/8995>>. Acesso em: 30 out. 2014.

KOGA, V. A. **Eventos extremos de precipitação na região metropolitana de campinas.** Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, 2005.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas-SP.** In: Conservação do solo, [s.l.], 1992. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v51n2/09.pdf>> Acesso em: 06 mar. 2012.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. **Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com as perdas de solo em Campinas-SP.** In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE O SOLO, 3. Anais...Recife, PE, 1980.

LOMBARDI NETO, F. **Rainfall erosivity- its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brasil.** West Lafayette, Purdue Universtiy. Teses de Mestrado. 1977.

MALVESTIO, L. M. **Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e a precipitação pluvial no Estado de São Paulo.** Trabalho de Conclusão de curso. Universidade Estadual Paulista. Ourinhos-SP. 2008.

**MATHAVE: Data Analysis & simulation.** Disponível em < [www.mathwave.com](http://www.mathwave.com)>. Acesso em: 26 abr. 2014.

MELLO, C. R.; SÁ, M. A. C.; CURTI, N.; MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. **Erosividade mensal e anual das chuvas no estado de Minas Gerais. Pesquisa Agropecuária Brasileira.** Brasília-DF, v.42, n.4, abr.2007. Disponível em: <<http://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/7599>> Acesso em: 30 abr. 2011.

MINGOTI, R. **Produção de sedimentos em microbacias hidrográficas em função do relevo e da cobertura florestal.** Dissertação de mestrado. Escola Superior de agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, SP. 2009.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O. **Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro.** In: REVISTA BRASILEIRA DE METEOROLOGIA. v 17, N.1. 1-10. 2002. Disponível em: <<file:///C:/Users/Aluno/Downloads/rbmet2002v17n1p1-10>>. pdf. Acesso em: 28 out. 2014.

MORAES, M. P. C.; Nery, J. T. **Variabilidade da precipitação na Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos do Médio Paranapanema.** In: REVISTA BRASILEIRA DA CLIMATOLOGIA. V.07, 2009. Disponível em: <<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs/index.php/revistaabclima/article/view/25660>>. Acesso em: 29 jan. 2012.

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

MOREIRA, P. S. P. *et al.* **Distribuição e probabilidade de ocorrência de chuvas no município de Nova Maringá, MT.** In: REVISTA DE CIÊNCIAS AGROAMBIENTAIS, p. 9-20, 2010.

NERY, J. T. **Estudo geoestatístico da variabilidade da chuva na Bacia do Paranapanema.** [s.l.], 2009. Disponível em: <<http://www.ourinhos.unesp.br/#!/pesquisa/grupos-de-estudo/clima/publicacoes/congressos/cong-internacionais/>> Acesso em: 21 Out. 2014.

NERY, J. T.; MARTINS, M. L. O. F.; SANT'ANNA, J. L. N. **Variabilidade da precipitação no Brasil Meridional.** In: *ACTA SCIENTIARIUM.* Maringá, PR, v.24, n. 6, p.1687-1695, 2002. Disponível em: <<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/viewFile/2501/1566>> Acesso em: 29 out. 2014.

NERY, J.; MARTINS, M. **Variabilidade interanual: Oscilação Sul-EI Niño.** Apontamentos. Universidade Estadual de Maringá/ EDUEM, 1992.

NERY, J. T. **Climatologia estatística: Séries Climáticas.** Apontamentos/ Universidade Estadual de Maringá/ EDUEM. 1997.

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

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

PEDRAZZI, J. A. [s.n.] Faculdade de Engenharia de Sorocaba. [Sorocaba,Sp], [s.d]

PETERNELLI, L. A. Mello, M. P. **Conhecendo o R: uma visão estatística**. Viçosa: Ed. UFV, 2007.

REBOITA, M. S. **Introdução à Estatística aplicada à Climatologia**. Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, 2005. Disponível em: <<http://200.132.77.47:8080/aulas/Poligrafos/PoligrafoMichelleIII.pdf>> Acesso em: 15 abr. 2014.

ROSAL, M. C. F.; MONTENEGRO, S. **Estudo da Distribuição de Probabilidade Para Precipitações Máximas na Bacia do Rio Mundaú**. In: Anais... XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 2011. Disponível em: <[http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/ff815d257d1868a2eb5785d3c62e5b8e\\_cde3cf4eb044968f0990f6dab8428d82.pdf](http://www.abrh.org.br/sgcv3/UserFiles/Sumarios/ff815d257d1868a2eb5785d3c62e5b8e_cde3cf4eb044968f0990f6dab8428d82.pdf)> Acesso em: 14 abr. 2014.

Roque, C. G.; CARVALHO, M. P.; PRADO, R. M. **Fator erosividade da chuva em Piraju (SP): distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva**. In: REVISTA BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, Viçosa, MG, v.25, n.1, p. 147-156, 2001.

SANTA'ANNA NETO, J. L. **A erosividade das chuvas no estado de São Paulo**. [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <<http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:MHY5saYwYo4J:www.revistas.usp.br/rdg/article/download/53690/57653+&cd=1&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>> Acesso em: 08 set. 2013.

SANTOS, A. M., GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B. **Homogeneização da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica do Rio Goiana, PE, com método de análise de agrupamento**. In: REVISTA BRASILEIRA DE GEOGRAFIA FÍSICA, 1(1), 14-27, 2008. Disponível em: <<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/161169/1/OPB2087.pdf>> Acesso em: 29 out. 2014.

SILVA, A. M. **Princípios Básicos da Hidrologia**. Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA) Lavras, MG. 1995.

SILVA, B. C.; CLARKE, R. T. **Análise estatística de chuvas intensas na Bacia do rio São Francisco**. In: REVISTA BRASILEIRA DE METEOROLOGIA, v.19, n.03, p.265-272, 2004.

SILVA, D. F. S. **Variabilidade da precipitação pluvial e estudo do índice de concentração diária na UGRHI-4**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA. Curitiba, PR, 2014

SILVA, J. C.; HELDWIN, A. B.; MARTINS, F. B.; TRENTIN, G.; GRIMM, E. L. **Análise de distribuição de chuva para Santa Maria, RS**. In: REVISTA DE ENGENHARIA BRASILEIRA AGRÍCOLA E AMBIENTAL. V.11, N.1, P.67-72. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n1/v11n1a09>>. Acesso em: 15 abr. 2014.

SILVA, S. A.; LIMA, J. S. S.; SOUZA, G. S.; OLIVEIRA, R. B., **Variabilidade espacial do potencial do potencial erosivo das chuvas para o Estado do Espírito Santo, Brasil**. Irriga. Botucatu-SP. V. 15, n. 3. 2009. Disponível em: <<http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/125>> Acesso em: 16 out. 2014.

TEIXEIRA, C. A. **Apostila de hidrologia aplicada**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, PR. 2010.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS: ABRH, 2007.

VIEIRA, S. R.; NETO, F. L. **Variabilidade espacial do potencial de erosão das chuvas do estado de São Paulo**. Campinas, SP. 1995. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v54n2/19.pdf>>. Acesso em: 06 mar. 2012.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Rainfall energy and its relationship to soil loss**. *Transactions of the American Geophysical Union, Washington*, v.39, n.2, pp.285-291, 1958. Disponível em: <<http://www.geomorphometry.org/content/rainfall-energy-and-its-relationship-soil-loss>>. Acesso em 29 out. 2014.

## ANEXO

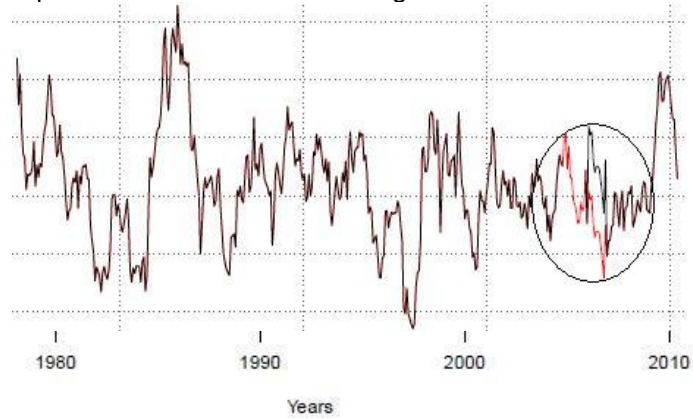
Valores de  $K_p$  para coeficiente de assimetria e períodos de retorno. (PEDRAZZI, [s.d.]):

Coeficiente de Assimetria	Período de retorno em anos							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Porcentagem de probabilidade de ocorrência							
	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970	7.250
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652	6.600
2.2	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444	6.200
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298	5.910
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147	5.660
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990	5.390
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828	5.110
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661	4.820
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489	4.540
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401	4.395
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.998	2.453	2.891	3.312	4.250
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223	4.150
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132	3.960
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041	3.815
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.880	2.261	2.615	2.949	3.670
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856	3.525
0.2	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763	3.380
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670	3.235
0	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
-0.1	0.017	0.836	1.270	1.716	2.000	2.252	2.482	2.950
-0.2	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388	2.810
-0.3	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294	2.675
-0.4	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201	2.540
-0.5	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108	2.400
-0.6	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016	2.275
-0.7	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926	2.150
-0.8	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733	1.837	2.035
-0.9	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749	1.910
-1.0	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664	1.800
-1.2	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501	1.625
-1.4	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351	1.465
-1.6	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197	1.216	1.280
-1.8	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087	1.097	1.130
-2.0	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995	1.000
-2.2	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907	0.910
-2.5	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800	0.802
-3.0	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667	0.668

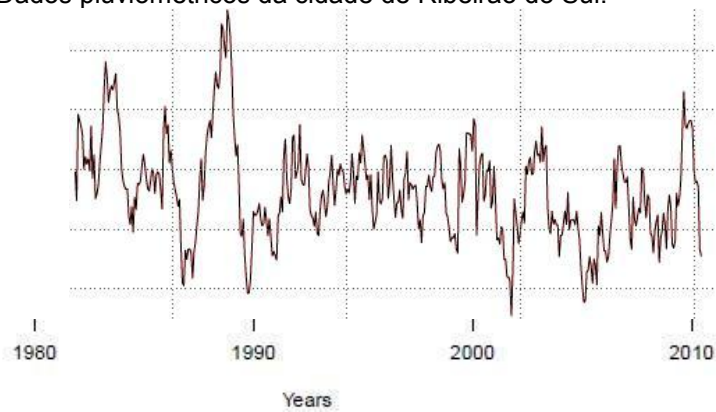
## APÊNDICE I

Gráficos das séries de dados homogêneas (1974-2010). (Elaborador: O autor, 2014).

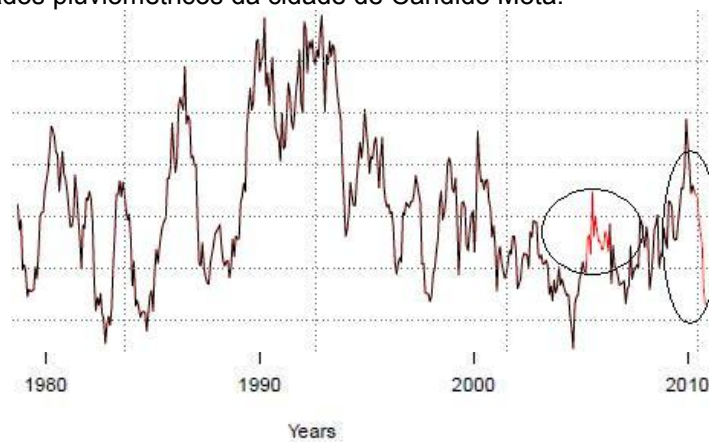
Dados pluviométricos da cidade de Agudos.



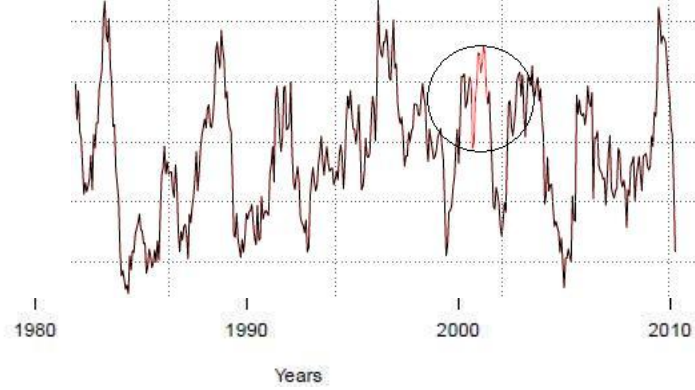
Dados pluviométricos da cidade de Ribeirão do Sul.



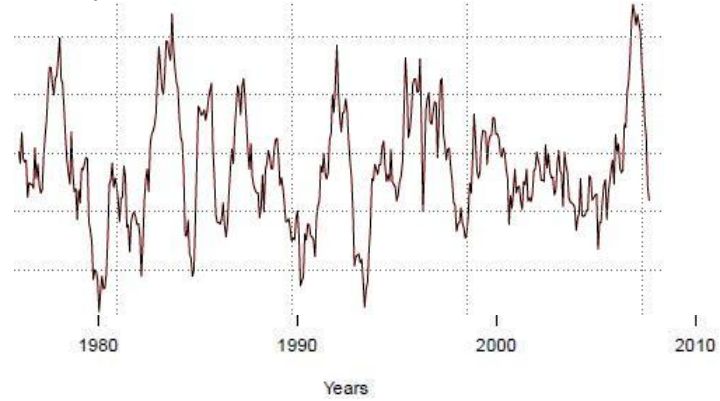
Dados pluviométricos da cidade de Cândido Mota.



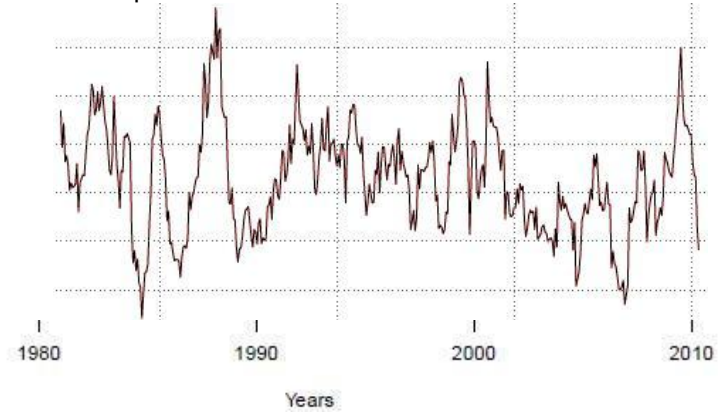
Dados pluviométricos da cidade de Salto Grande.



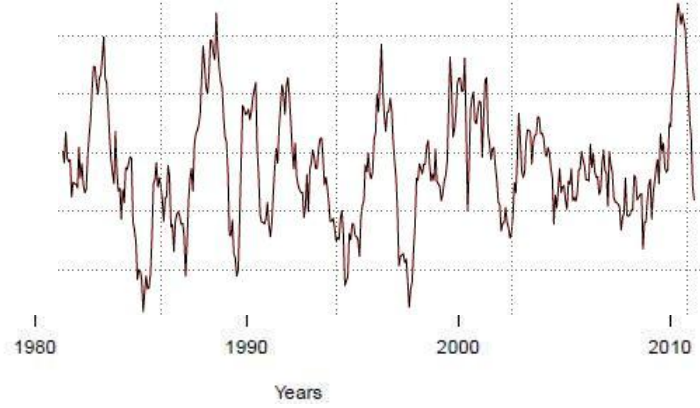
Dados pluviométricos da cidade de Santa Cruz do Rio Pardo.



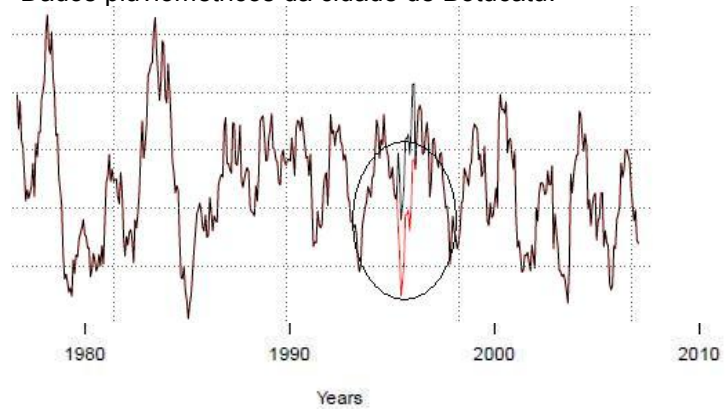
Dados pluviométricos da cidade de Botucatu.



Dados pluviométricos da cidade de Garça.



Dados pluviométricos da cidade de Botucatu.



## APÊNDICE II

Gráficos de variabilidade temporal. ( Elaborador: O autor, 2014)

