UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL E VARIABILIDADE DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR

Márcio Greyck Guimarães Correa

(Versão Corrigida)
São Paulo
2013

Márcio Greyck Guimarães Correa

Distribuição espacial e variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia do rio Piquiri-PR

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências (Geografia Física)

Orientador: Prof. Dr. Emerson Galvani

(Versão Corrigida)
São Paulo
2013

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catalogação na Publicação
Serviço de Biblioteca e Documentação
Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

CCC824 dd

Correa, Márcio Greyck Guimarães
Distribuição espacial e variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia do rio Piquiri-Pr / Márcio Greyck Guimarães Correa ; orientador Emerson Galvani. - São Paulo, 2013.
102 f.

Dissertação (Mestrado)- Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo. Departamento de Geografia. Área de concentração: Geografia Física.

1. Climatologia. 2. Precipitação pluviométrica. 3. Bacia hidrográfica. I. Galvani, Emerson, orient. II. Título.

Folha de aprovação

Márcio Greyck Guimarães Correa

Distribuição espacial e variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia do rio Piquiri-PR

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências (Geografia Física)

Aprovado em _____/_____/_____

Banca examinadora

Prof. Dr. Emerson Galvani (Orientador)
Instituição: Universidade de São Paulo - USP

Assinatura: _____

Prof. Dr. Jose Bueno Conti
Instituição: Universidade de São Paulo - USP

Assinatura: _____

Prof. Dr. Charlei Aparecido da Silva
Instituição: Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD

Assinatura: _____

À todas as pessoas que dedicaram e/ou ainda dedicam suas vidas ao desenvolvimento da ciência e do conhecimento neste país.

Agradecimentos

A todos que direta ou indiretamente fazem parte do meu percurso, em especial...

... aos meus pais, Artur e Seleide, pelos ensinamentos e valores que levarei por toda minha vida, ao meu irmão e amigo Marcos e minha cunhada Luciane.

... ao professor orientador Dr. Emerson Galvani, por aceitar o desafio, pela ajuda ao longo dos três anos de mestrado nesta instituição, nas correções dos trabalhos, nas indicações de leituras, nas observações, nos conselhos acadêmicos.

... ao apoio financeiro (bolsa) concedido pela CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

... ao Instituto das Águas do Paraná e a dedicação do Nilson Antonio de Moraes no fornecimento dos dados pluviométricos para a realização desta pesquisa.

... ao Instituto Agronômico do Paraná – IAPAR e a especial atenção da Dra. Dalziza de Oliveira em conceder os dados de temperatura média do ar.

... a todos os professores que fizeram parte da minha formação intelectual, que me ensinaram a ler, interpretar e interferir no mundo ao qual faço parte, especialmente os professores que me ensinaram a Geografia na escola e na universidade.

... aos professores, Dr. Luis Antonio Bittar Venturi, Dra. Maria Elisa Siqueira Silva e Dr. Ailton Luchiari pela contribuição no desenvolvimento da pesquisa, em especial aos professores Dr. José Bueno Conti e Dr. Charlei Aparecido da Silva por aceitarem o convite de participar da banca de defesa e as contribuições ao trabalho.

... a Dra. Juliana de Paula Silva pela ajuda com o *software*, na elaboração dos mapas, pelas caronas, conversas, companhia, amizade.

... aos amigos que estiveram ao meu lado, amigos de república, amigos de trabalho, amigos de pesquisa, a todos os amigos que assim possam se sentir agradecidos pela companhia,

especialmente a Grace Bungenstab Alves, Beatriz Sorrentino, Diego Benfica, Jeanne Bungenstab Alves, André Mateus Barreiros, Marcelo Reis Nakashima, Susan Viana, Geovana Freitas, Maria Aparecida Santana de Azevedo, Diego Antunes, Wendy Bungenstab Alves, Renato Macchia, Jessyca Sousa do Nascimento e Tato.

Muito obrigado!

Até onde eu posso ver? 10 milhas? 20?
Nós não podemos ver as geleiras do deserto,
ou o fundo do mar a partir do pico da montanha.
Nós nunca vamos conhecer todos os 7 bilhões de habitantes que andam na terra,
mas sabemos que eles estão lá.
Estamos preparados para acreditar no que não podemos ver.

Mas podemos ver a lua e o sol,
não 20 milhas, mas 93.000 milhas de distância.
E o véu infinito de estrelas, tão distante,
questiona a nossa crença.

Nossos sonhos nos levam a lugares que nunca vamos chegar,
abre portas para outros mundos
e janelas para nós mesmos.
A viagem para as estrelas pode ser tão perto de um sonho
quanto a realidade pode me levar.
É claro que eu vou ver a beleza do universo,
Vou ver mais fundo dentro de mim, mais perto de meus sonhos.

Eu não sou um sonhador
Eu sou um caçador de sonhos.

Prelúdio promocional do álbum "*Dreamchaser*" da soprano britânica Sarah Brightman, lançado em 2013. (Tradução – Márcio Greyck Guimarães Correa)

Resumo

CORREA, M. G. G. **Distribuição espacial e variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia do rio Piquiri-PR**. 2013. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

Esta pesquisa apresenta uma análise da distribuição espacial e variabilidade da precipitação pluviométrica na bacia do rio Piquiri-PR, baseando-se na teoria sistêmica e nas condições de troca de energia e matéria em uma bacia hidrográfica. Analisaram-se as condições pluviométricas para o período de 1976-2010 com dados de 73 postos pluviométricos do Instituto das Águas do Paraná. Verificando a distribuição e a variabilidade espaço-temporal da precipitação pluviométrica por meio de mapas de isoietas gerados a partir da interpolação dos dados pluviométricos na bacia do rio Piquiri, percebeu-se que os sistemas atmosféricos e o relevo participam ativamente na distribuição anual, sazonal e mensal da precipitação. Entre as cotas altimétricas de 400 a 900 metros o efeito do relevo potencializa o acréscimo de precipitação média anual, indicando singularidades no que diz respeito à variabilidade espacial da chuva. Por meio da metodologia dos anos-padrão determinaram-se os anos chuvosos, secos e habituais, e de acordo com a distribuição característica mensal da chuva escolheu-se os anos de 1983, 1978 e 2001 para o estudo detalhado da variabilidade pluviométrica. Notou-se que as variações espaciais e temporais diferenciam-se entre o sul e sudeste em relação ao norte e noroeste da bacia, o mais chuvoso e o menos chuvoso respectivamente. A disponibilidade hídrica analisada através do balanço hídrico climatológico de Thornthwaite e Mather (1955) mostra variações mensais nos excedentes e nas deficiências hídricas da bacia, sendo março o mês com maior deficiência enquanto maio e outubro os meses de maior excedente hídrico.

Palavras-chave: precipitação pluviométrica, bacia hidrográfica, rio Piquiri, balanço hídrico climatológico.

Abstract

CORREA, M. G. G. **Spatial distribution and variability of rainfall in the watershed Piquiri-PR**. 2013. Thesis (Master's degree) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

This research presents an analysis of spatial distribution and variability of rainfall in the watershed Piquiri-PR, based on the systemic theory and conditions exchange energy and matter in a drainage basin. It was analyzed the rainfall conditions to the period 1976-2010 with data 73 gauge stations of Instituto das Aguas do Paraná. Checking the distribution and spatio-temporal variability of rainfall with maps of isohyets generated from the interpolation of rainfall data in the drainage basin Piquiri, it was realized that atmospheric systems and the relief actively participate in the precipitation distribution annual, seasonal and monthly. Between altimetric elevations of 400-900 meters the relief effect potentiates the increase average annual rainfall, indicating singularities to the rainfall spatial variability. Through of methodology years-pattern were determined the wet years, dry and normal, and according to the characteristic distribution of monthly rain was chosen the years 1983, 1978 and 2001 to the detailed study of rainfall variability. It was observed that the spatial and temporal variations differentiate between the south and southeast compared with the north and northwest of the drainage basin, the most rainy and less rainy, respectively. The water availability analyzed by water balance climatology Thornthwaite and Mather's (1955) shows monthly variations in the excess and deficiencies of water of drainage basin, March being the month with the highest deficiency while May and October the months of highest water excess.

Keywords: Rainfall, Watershed, Piquiri River, Water Balance Climatology.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR.....19
FIGURA 2: MAPA GEOLÓGICO DA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR.....20
FIGURA 3: MAPA GEOMORFOLÓGICO DA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR. 21
FIGURA 4: MAPA HIPSOMÉTRICO DA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR.....22
FIGURA 5: MAPA CLIMÁTICO DA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR. 23
FIGURA 6: MAPA PEDOLÓGICO DA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR.....24
FIGURA 7: IMAGEM DO ENCONTRO DA ÁGUA DO RIO PIQUIRI COM AS ÁGUAS DO RIO PARANÁ. 25
FIGURA 8: MAPA FITOGEOGRÁFICO DA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR.....26
FIGURA 9: DIVISÃO POLÍTICO-ADMINISTRATIVA DOS MUNICÍPIOS INSERIDOS NA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR.....27
FIGURA 10: DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO URBANA E RURAL NA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR...28
FIGURA 11: VALOR DA PRODUÇÃO AGRÍCOLA TOTAL PARA O ANO DE 2007 NOS MUNICÍPIOS INSERIDOS NA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR.....29
FIGURA 12: : MAPA DE USO DO SOLO DA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR. 31
FIGURA 13: PROCESSOS DECORRENTES DA ENTRADA DE ÁGUA NO SISTEMA BACIA HIDROGRÁFICA. 36
FIGURA 14: GÊNEROS DE NUVENS E EXEMPLOS DE ESPÉCIES E VARIEDADES.....41
FIGURA 15: ESQUEMA DA INTERCEPTAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA PELA VEGETAÇÃO ATÉ ATINGIR O SOLO.....46
FIGURA 16: DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS 73 POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ UTILIZADOS NA PESQUISA.....51
FIGURA 17: PLUVIÔMETRO VILLE DE PARIS UTILIZADO NA COLETA DA PRECIPITAÇÃO NA REDE DE POSTOS DO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ 52
FIGURA 18: CURVA DE DUPLA MASSA PARA VERIFICAÇÃO DA CONSISTÊNCIA DA SÉRIE HISTÓRICA MENSAL PARA O POSTO 14 E 35**.**.....53
FIGURA 19: RAIO DE ABRANGÊNCIA DOS POSTOS PLUVIOMÉTRICOS SEGUNDO PARÂMETROS DE DENSIDADE DE POSTOS DA WMO (1994). 56
FIGURA 20: PLUVIOMETRIA MÉDIA MENSAL PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR EM 1983, 1978 E 2001.....58
FIGURA 21: CORRELAÇÃO ENTRE O MÉTODO DE ESTIMATIVA E A TEMPERATURA OBSERVADA NAS QUATRO ESTAÇÕES DO IAPAR PARA AS MÉDIAS MENSAIS, (A – GUARAPUAVA, B – NOVA CANTU, C – UMUARAMA E D – PALOTINA). 63
. **FIGURA 22**: PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR NO PERÍODO DE 1976 A 2010.....65
FIGURA 23: TRANSETO NW-SE MOSTRANDO A RELAÇÃO ENTRE A TOPOGRAFIA E A PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR. 66
FIGURA 24: DISTRIBUIÇÃO SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA MÉDIA NA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR 67
FIGURA 25: PRECIPITAÇÃO MÉDIA SAZONAL PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR NO PERÍODO DE 1976 A 2010.....69

FIGURA 26: DISTRIBUIÇÃO MENSAL DA PLUVIOMETRIA MÉDIA NA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR PARA OS 73 POSTOS PLUVIOMÉTRICOS. 70
FIGURA 27: PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR NO PERÍODO DE 1976 A 2010. 72
FIGURA 28: PRECIPITAÇÃO TOTAL DO ANO CHUVOSO (1983) PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR. 75
FIGURA 29: DISTRIBUIÇÃO SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR PARA O ANO DE 1983. 75
FIGURA 30: PRECIPITAÇÃO MÉDIA SAZONAL PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR EM 1983..... 76
FIGURA 31: PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL NA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR EM 1983. 79
FIGURA 32: PRECIPITAÇÃO TOTAL DO ANO SECO (1978) PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR 81
FIGURA 33: DISTRIBUIÇÃO SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR PARA O ANO DE 1978 81
FIGURA 34: PRECIPITAÇÃO MÉDIA SAZONAL PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI –PR EM 1978. 82
FIGURA 35: PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL NA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR EM 1978. 85
FIGURA 36: PRECIPITAÇÃO TOTAL DO ANO HABITUAL (2001) PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR 86
FIGURA 37: DISTRIBUIÇÃO SAZONAL DA PRECIPITAÇÃO MÉDIA NA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR PARA O ANO DE 2001 87
FIGURA 38: PRECIPITAÇÃO MÉDIA SAZONAL PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR EM 2001..... 88
FIGURA 39: PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL NA BACIA DO RIO PIQUIRI-PR EM 2001. 90
FIGURA 40: TEMPERATURA MÉDIA DO AR ANUAL ESTIMADA PELO MÉTODO DE REGRESSÃO LINEAR DE PINTO E ALFONSI (1974) PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR. 91
FIGURA 41: DISPONIBILIDADE HÍDRICA MÉDIA ANUAL PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR..... 92
FIGURA 42: TEMPERATURA MÉDIA DO AR MENSAL ESTIMADA PELO MÉTODO DE REGRESSÃO LINEAR DE PINTO E ALFONSI (1974) PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR. 94
FIGURA 43: DISPONIBILIDADE HÍDRICA MENSAL PARA A BACIA DO RIO PIQUIRI-PR. 95

LISTA DE TABELAS

TABELA 1: POSTOS PLUVIOMÉTRICOS DO INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ UTILIZADOS NA PESQUISA. 49
TABELA 2: DETERMINAÇÃO DOS ANOS-PADRÃO 58
TABELA 3: VALORES DOS COEFICIENTES *A*, *B*, *C* E *D* DA EQUAÇÃO DA ESTIMATIVA DA TEMPERATURA MÉDIA MENSAL PARA O ESTADO DO PARANÁ. 60
TABELA 4: VALORES MÉDIOS ESTIMADOS DE TEMPERATURA DO AR ATRAVÉS DA REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA PARA OS 73 POSTOS DA BACIA DO RIO PIQUIRI. 61
TABELA 5: ACRÉSCIMOS E DECRÉSCIMOS MENSAIS NA PRECIPITAÇÃO MÉDIA DE 1983 COMPARADA COM A MÉDIA HISTÓRICA PARA TODOS OS 73 POSTOS DA BACIA DO RIO PIQUIRI. 77
TABELA 6: ACRÉSCIMOS E DECRÉSCIMOS MENSAIS NA PRECIPITAÇÃO MÉDIA DE 1978 COMPARADA COM A MÉDIA HISTÓRICA PARA TODOS OS 73 POSTOS DA BACIA DO RIO PIQUIRI. 83
TABELA 7: ACRÉSCIMOS E DECRÉSCIMOS MENSAIS NA PRECIPITAÇÃO MÉDIA DE 2001 COMPARADA COM A MÉDIA HISTÓRICA PARA TODOS OS 73 POSTOS DA BACIA DO RIO PIQUIRI. 88

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 15

1.1 Justificativa 17

1.2 Objetivo Geral 18

1.3 Objetivos Específicos 18

1.4 A geografia da bacia do rio Piquiri 18

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 32

2.1 A teoria sistêmica, a análise da paisagem e a bacia hidrográfica 32

2.2 As trocas de energia no Sistema-Superfície-Atmosfera (SSA) 36

2.3 A precipitação pluviométrica 39

2.4 O ciclo hidrológico e os processos de evaporação e evapotranspiração no sistema hidrográfico 44

3 MÉTODO DE PESQUISA 48

3.1 Procedimentos metodológicos 48

3.1.1 A escolha e organização dos postos pluviométricos 48

3.1.2 A consistência do banco de dados 52

3.1.3 Espacialização da precipitação através da interpolação 53

3.1.4 Determinação dos anos excepcionais (Ano padrão) 57

3.1.5 O balanço hídrico climatológico (BHC) 59

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS 65

4.1 Variabilidade da precipitação média para o período de 1976 a 2010 65

4.1.1 Análise da precipitação média anual 65

4.1.2 Análise da precipitação média sazonal 67

4.1.3 Análise da precipitação média mensal 69

4.2 Distribuição espacial e temporal da precipitação para o ano chuvoso (1983) 73

4.3 Distribuição espacial e temporal da precipitação para o ano seco (1978) 80

4.4 Distribuição espacial e temporal da precipitação para o ano habitual (2001) 86

4.5 Disponibilidade hídrica na bacia do rio Piquiri 91

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 96

6 REFERÊNCIAS 99

1 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento das técnicas de trabalho da sociedade humana a forma de apropriação do espaço geográfico deu um novo impulso às questões relacionadas ao meio ambiente. A intensidade da industrialização e o crescimento das cidades, o desenvolvimento do agronegócio e o aumento da demanda de recursos minerais e fósseis, em especial no Brasil, levaram os geógrafos a reavaliarem o impacto destas atividades na superfície terrestre, tornando necessário para a sociedade conhecer os espaços terrestres e a intensidade de suas atividades sobre o mesmo. Souza e Mariano (2008) analisaram a participação dos estudos em Geografia Física em meio ambiente e evidenciaram que estudos tem sido feitos e que a conscientização da sociedade é fundamental para garantir o futuro do planeta no que diz respeito aos recursos naturais.

No âmbito internacional e nacional, pesquisas, conferências e grandes investimentos tem sido feitos no que se refere à temática ambiental, pois a sociedade tem percebido que os impactos das atividades socioeconômicas no meio natural pode gerar problemas ainda desconhecidos para os seres humanos, sob estes auspícios o conhecimento do funcionamento e da dinâmica natural do planeta é importante para o uso e preservação destes recursos.

As mudanças ambientais têm recebido um papel de destaque no meio científico internacional, sabe-se que a água merece especial atenção, principalmente em regiões tropicais, sugere Santos (2000), onde as chuvas assumem um papel importante na compreensão do clima em escala regional e que podem ser consideradas o principal elemento de análise e organização para o planejamento territorial e ambiental.

O percurso da água da atmosfera até a superfície é compreendido através do ciclo hidrológico, segundo Silveira (2001) a principal fonte fornecedora de água para a atmosfera são os oceanos (85%) e o restante provém das águas continentais (15%), a atmosfera

armazena uma quantidade ínfima de água, mas é nela que ocorre um dos principais processos do ciclo hidrológico, a precipitação pluviométrica. Muitos estudos relacionados à importância da precipitação pluviométrica e sua ligação às atividades humanas são desenvolvidos em todo o mundo.

Zanella et al. (2009) ao estudar o impacto de eventos extremos de precipitação na cidade de Fortaleza, ressalta a importância de se compreender as interações entre a superfície e atmosfera, especialmente em áreas urbanas de países emergentes, e todas suas decorrências socioambientais. Coscarelli e Caloiero (2012) analisaram recentemente a distribuição diária das chuvas no sul da Itália por meio de um índice de concentração das chuvas e verificaram a importância de se entender a participação do dias chuvosos na distribuição anual da precipitação, bem como os riscos de inundações e instabilidade dos solos.

Os estudos climáticos desempenham papel importante na ciência geográfica. Para Sant'Anna Neto (2008), o clima deve ser entendido como fenômeno geográfico substanciado pelas aplicações de seu conhecimento no entendimento do território e não apenas como elemento natural. As implicações sociais não podem ser deixadas de lado, dando um novo sentido aos estudos climáticos.

A bacia hidrográfica representa concretamente as relações sistêmicas entre a atmosfera, a superfície e as atividades humanas, ao ser entendida como um sistema. Cunha e Guerra (1996) apontam a bacia hidrográfica como excelentes áreas para o planejamento, pois estes sistemas naturais integram uma visão conjunta dos elementos naturais e as atividades humanas e que alterações neste sistema geram efeitos e impactos nos fluxos energéticos.

Este trabalho se desenvolve sob os auspícios de uma visão sistêmica de funcionamento do ciclo natural do planeta, direcionando para o objeto de estudo proposto, as chuvas, a unidade de análise determinada é a bacia hidrográfica, especificamente a bacia do rio Piquiri-PR, localizada em uma região de contato geológico (Formação Caiuá e Serra Geral) de

intenso uso agrícola. Busca-se de forma clara e objetiva entender as relações entre as determinantes da distribuição e variabilidade da precipitação pluviométrica.

1.1 Justificativa

O gerenciamento de bacias hidrográficas e recursos hídricos dependem de vários elementos que compõem o sistema, a relação e interação desses elementos estão interagindo diretamente com os elementos de ordem antrópica, como o uso da terra.

Molle (2009) faz um resgate histórico da concepção da bacia hidrográfica na história da humanidade e lembra que o uso desta unidade de paisagem remonta à China antiga, quando o rio represado era utilizado para plantações de arroz, assim como na Europa as teorizações acerca das bacias hidrográficas tiveram destaque com o advento de suas primeiras conceituações ligadas aos sistemas naturais e à paisagem, atualmente o conceito de bacia hidrográfica como unidade de planejamento ou gestão já passou por várias fases e está em fluxo para uma necessidade de preservação ou uso racionalizado de seus recursos.

Ross e Del Prette (1998) fizeram uma análise da situação do planejamento das bacias hidrograficas no Brasil, observaram que as leis voltadas para tal assunto são muitas vezes ignoradas e não atendem a realidade específica de cada lugar, um desafio seria implementar de forma funcional o planejamento das bacias no país.

Ao tratar-se das relações entre os elementos geográficos da bacia hidrográfica do rio Piquiri a ênfase na análise climática é de fundamental importância pelo fato de abordar questões relevantes para a atual sociedade, momento de dúvida e incerteza acerca das mudanças ambientais em que as atividades humanas inserem-se no contexto maior, que é a apropriação do espaço geográfico.

A análise da distribuição da precipitação pluviométrica em uma bacia hidrográfica possibilita compreender a dinâmica hidrológica da mesma, a identificação dos períodos mais chuvosos, auxilia na compreensão dos fluxos fluviais, determinação das áreas de alagamentos,

entre outros. Do ponto de vista econômico, o gerenciamento de bacias hidrográficas fornece ao planejamento ambiental, agrícola e urbano, subsídios pra melhor avaliar os impactos das atividades empregadas, em uma área onde as atividades agrícolas tem tanta representatividade como no interior do Paraná, as chuvas assumem um papel econômico muito maior.

1.2 Objetivo Geral

O objetivo da presente pesquisa é analisar a relação entre o relevo e a dinâmica atmosférica e sua influência na distribuição e variabilidade em diferentes escalas temporais da pluviosidade na bacia do Rio Piquiri – PR no período de 1976 à 2010.

1.3 Objetivos Específicos

- Espacializar a precipitação pluviométrica na escala anual, sazonal e mensal;
- Determinar o ano chuvoso, seco e habitual através dos anos-padrão;
- Espacializar a precipitação pluviométrica do ano chuvoso, seco e habitual na escala anual, sazonal e mensal;
- Calcular e espacializar o Balanço Hídrico Climatológico para a média mensal e anual.

1.4 A geografia da bacia do rio Piquiri

A bacia do rio Piquiri localiza-se na região centro-oeste do estado do Paraná, entre as latitudes de 23˚00’00” S, 25˚30’00” S e longitudes 52˚00’00” W, 55˚30’00” W, como se pode observar na Figura 1. Ao norte e a leste limita-se com a bacia do rio Ivaí, ao sul com a bacia do rio Iguaçu e a oeste o rio Piquiri tem sua foz junto ao rio Paraná. O rio Piquiri tem uma extensão de 485 km e a área de drenagem de toda a bacia é de aproximadamente 24700 km^2.

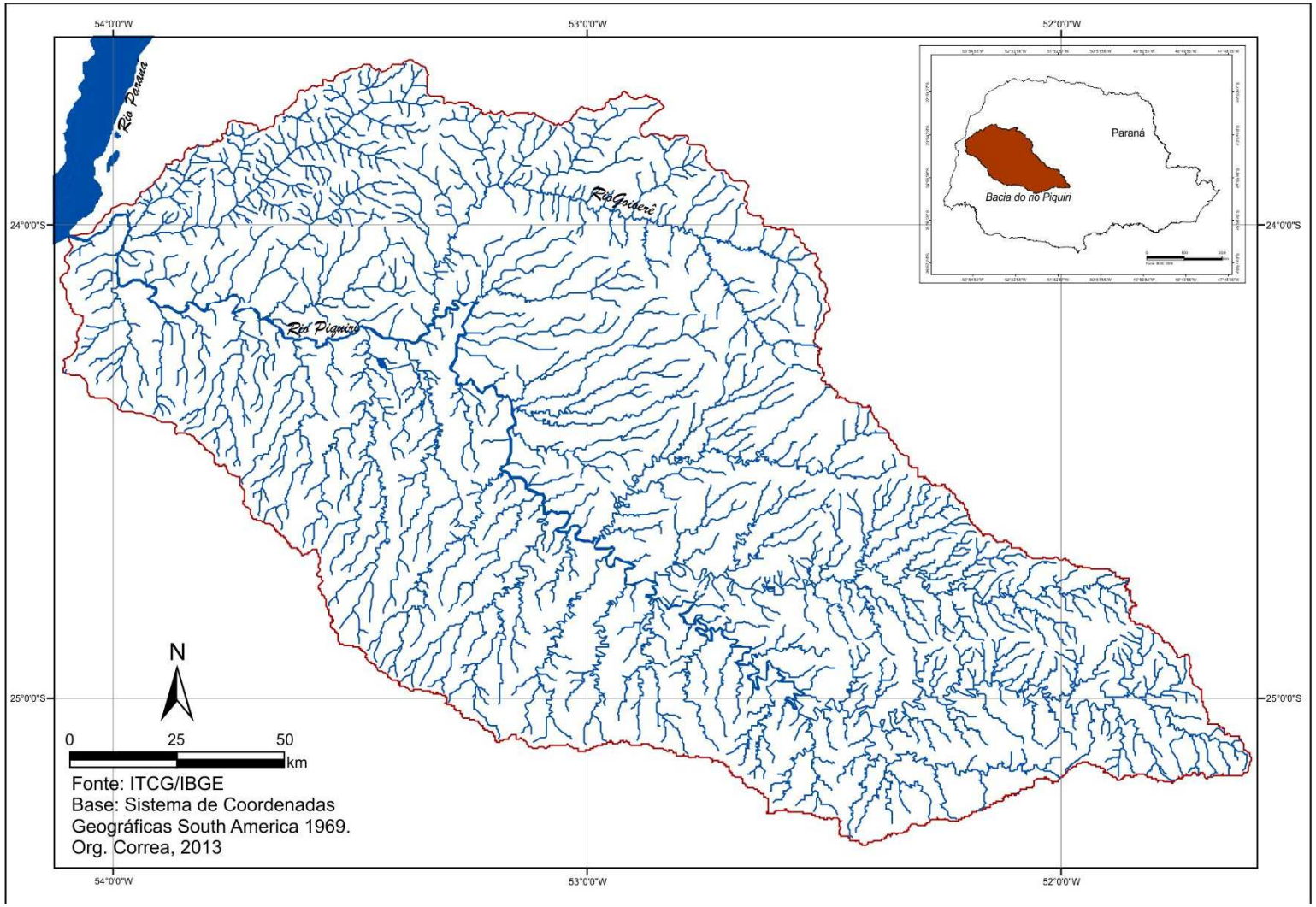

Figura 1: Mapa de localização da bacia do rio Piquiri-PR.

De acordo com Maack (1981), o embasamento geológico regional encontra-se em uma zona de transição, entre a Formação Caiuá e as rochas eruptivas básicas do derrame do *Trapp*, o basalto. Analisando o mapa geológico observa-se que todo o setor centro-sul da bacia é constituído geologicamente pela Formação Serra Geral de rochas básicas, na medida em que direciona-se para o norte predomina a Formação Caiuá do Grupo Bauru, sendo que no vale do rio Goio-Erê o basalto adentra a Formação Caiuá ficando esta restrita aos pontos mais elevados das vertentes, da mesma forma que as formações aluviais dominam as baixas vertentes nas proximidades com o rio Paraná, como pode-se observar na Figura 2.

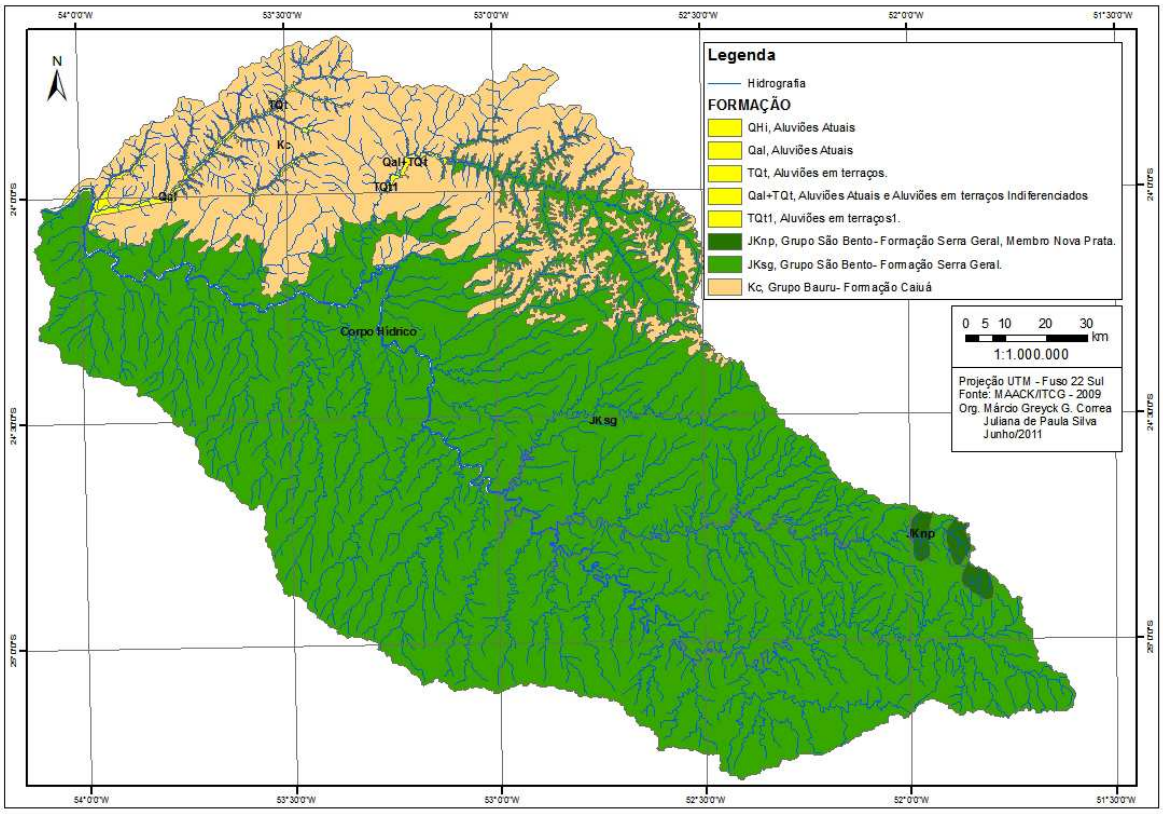

Figura 2: Mapa geológico da bacia do rio Piquiri-PR.

A drenagem está inserida no sistema da bacia do Piquiri, numa área configurada por relevos que se inclinam suavemente em direção a calha do rio Paraná na direção oeste, é resultado dos processos erosivos provocados pelos rios Paranapanema, Ivaí, Piquiri e Iguaçu e que segundo Maack (1981), essa configuração do relevo caracteriza as zonas naturais de

paisagem do Paraná, formado por escarpas de estratos e planaltos. As características geológicas irão proporcionar unidades geomorfológicas essencialmente planálticas, ao qual se destaca cinco planaltos (Planalto Pitanga/Ivaiporã, Planalto de Campo Mourão, Planalto de Cascavel, Planalto de Umuarama e Planalto do Alto/Médio Piquiri) e uma pequena planície (Planícies Fluviais) próxima à foz do rio Piquiri associada à dinâmica hídrica controlada pelo rio Paraná, como pode-se observar na Figura 3.

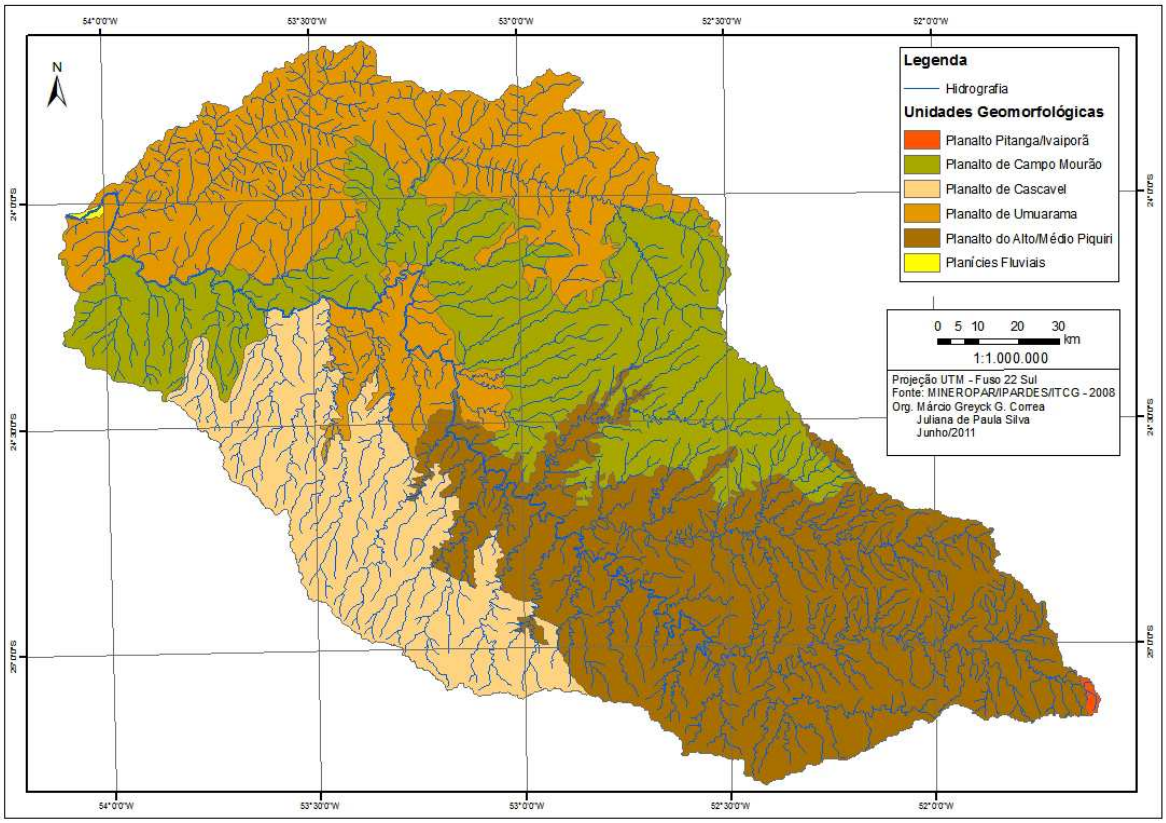

Figura 3: Mapa geomorfológico da bacia do rio Piquiri-PR.

A altimetria desempenha um importante papel na configuração da densidade de drenagem, nas características climáticas e fitogeográficas da área. Observa-se na Figura 4 que as médias altimétricas variam entre 200 m nas regiões de menor altitude (Planícies Fluviais, Planalto de Umuarama e extremo oeste do Planalto de Campo Mourão), próximo ao rio Paraná e ao norte da bacia, onde predomina o Arenito, enquanto que em direção ao sul e

sudeste as médias altimétricas elevam-se gradualmente, podendo ultrapassar 1000 m no Planalto do Alto/Médio Piquiri e Planalto de Cascavel.

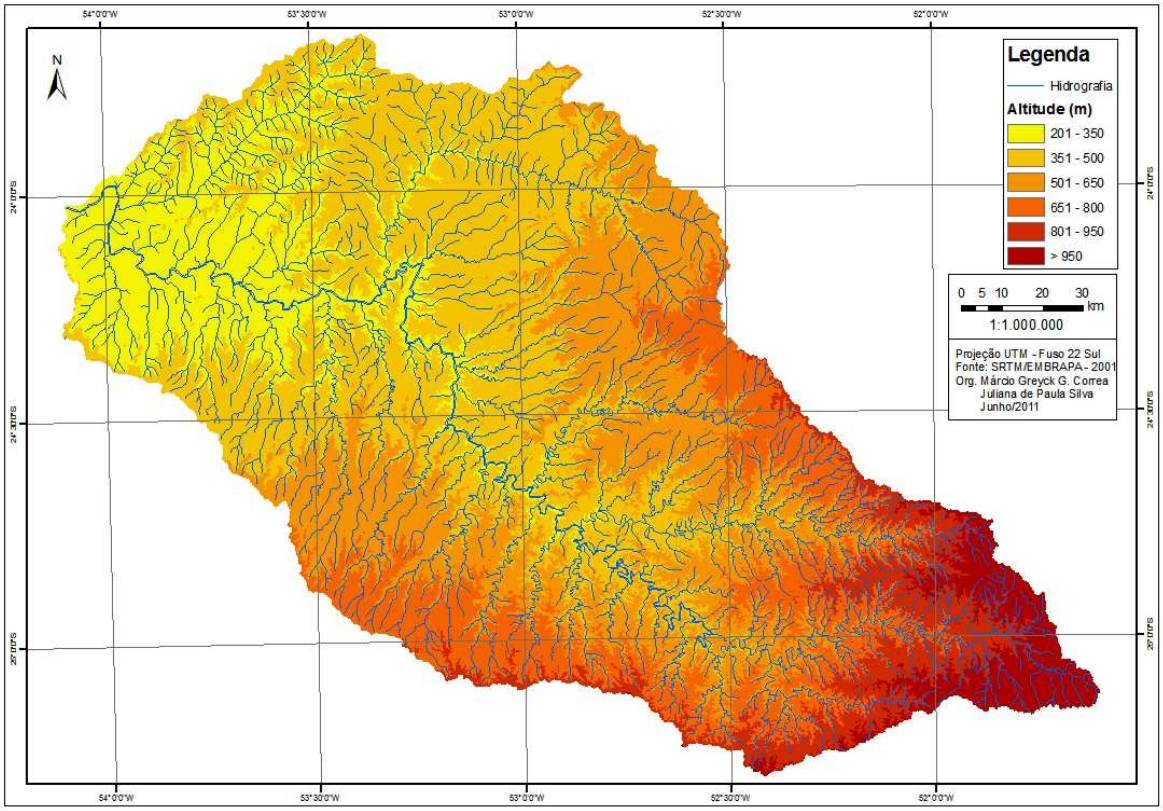

Figura 4: Mapa hipsométrico da bacia do rio Piquiri-PR.

A classificação climática segundo Köppen (1948) aprimorada pelo IAPAR (1978) no Paraná apresenta de forma generalizada dois tipos climáticos no estado, Cfa e Cfb, sendo assim, optou-se por uma base cartográfica mais detalhada com a mesma classificação climática realizada pelo SIMEPAR/ITCG e que pode ser observada na figura 5, na bacia do rio Piquiri o clima apresenta-se do tipo Cfa em todo o setor centro-oeste e se estende ao longo do vale do rio Piquiri e caracteriza-se por ser um clima subtropical, mesotérmico com verões quentes e geadas pouco freqüentes. À medida que a altitude eleva-se, o tipo climático predominante é o Cfb, com temperatura média no mês mais frio abaixo de 18ºC (mesotérmico) e com verões frescos sem estação seca definida, compreende parte do planalto de Cascavel e toda a área da nascente do rio Piquiri no planalto do Alto/Médio Piquiri. O

norte da bacia predomina o tipo climático Cwa, caracteristicamente apresenta-se com chuvas de verão e estações bem definidas (verão-inverno) e temperaturas médias no mês mais quente superior a 22° C.

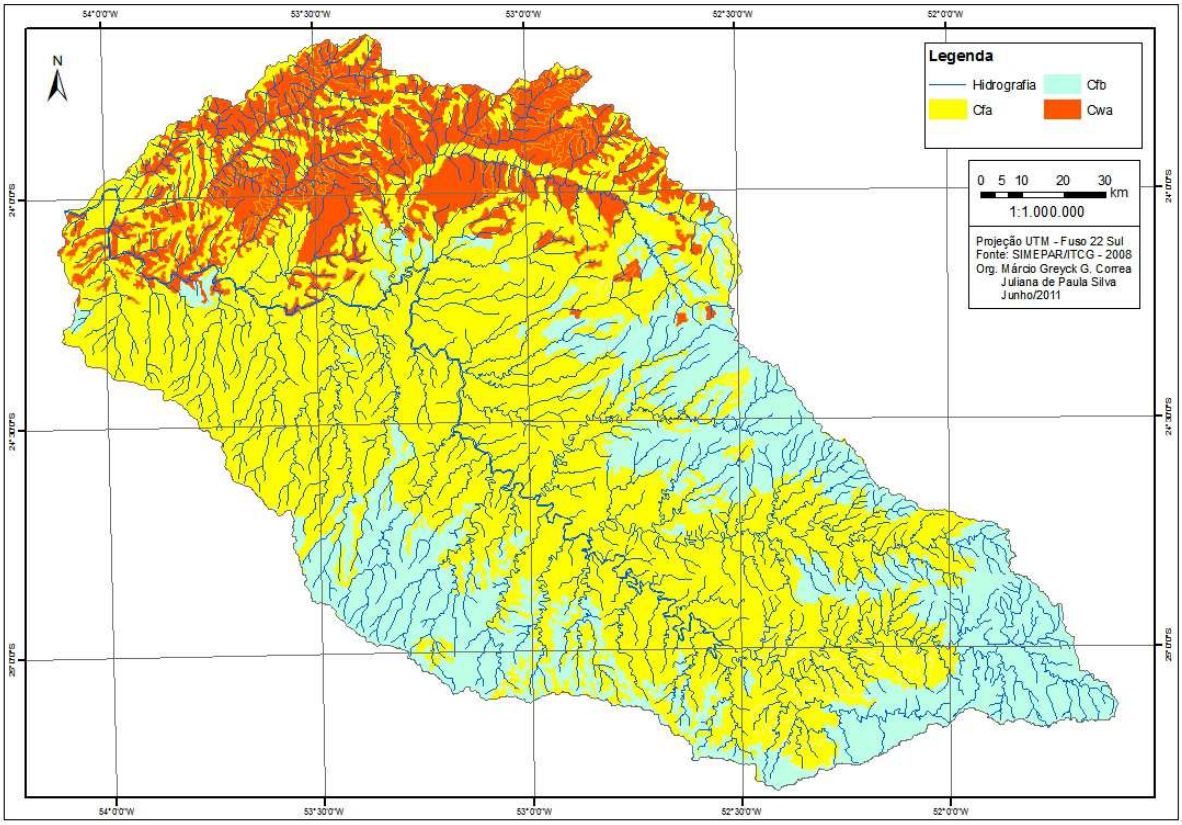

Figura 5: Mapa climático da bacia do rio Piquiri-PR.

As principais classes de solos formados a partir da alteração do arenito Caiuá são o Latossolo vermelho textura média, o Argissolo vermelho-amarelo textura média/arenosa e predominam em todo o setor do Grupo Bauru, no norte e noroeste da bacia. Nas áreas com presença do basalto do Grupo São Bento, todo o setor centro-oeste, sul e leste da bacia, as principais classes de solos encontradas apresentam textura argilosa e muito argilosa como o Latossolo vermelho eutroférrico ou distroférrico e o Nitossolo vermelho, EMBRAPA (1999). Nas regiões mais elevadas encontram-se os Neossolos, devido à declividade do terreno os solos não são tão espessos o que caracteriza essas áreas de elevado grau de vulnerabilidade pedológica, Figura 6.

A alta fertilidade dos solos, principalmente os pertencentes ao Grupo São Bento, proporciona uma intensa prática agrícola na região desde o período da colonização.

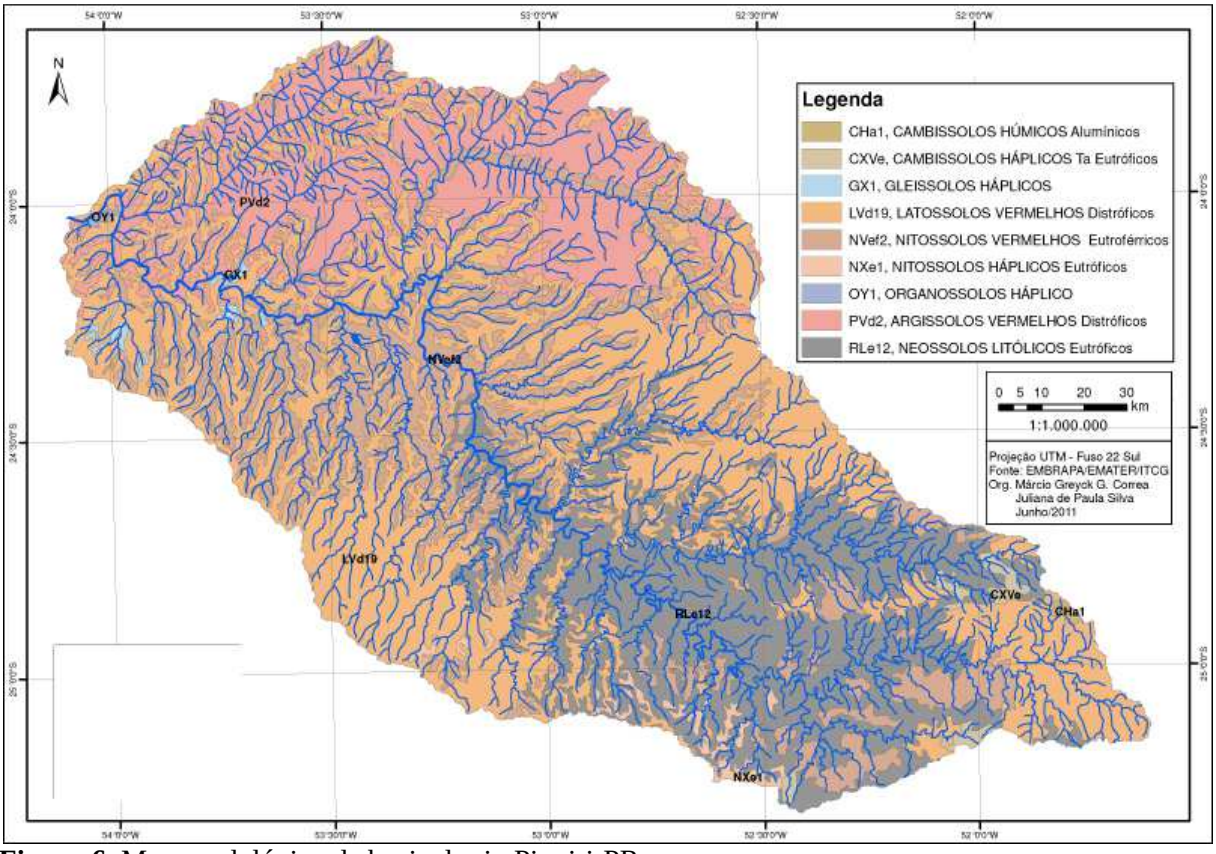

Figura 6: Mapa pedológico da bacia do rio Piquiri-PR.

O intenso uso agrícola da área com o passar dos anos e a prática inadequada de uso e preservação do solo acarretou em um aumento dos processos erosivos, o fato resulta ao rio Piquiri uma cor avermelhada/marrom da água, Aguiar (2009) discute que essa cor característica indica uma grande quantidade de sedimentos em suspensão, como pode-se observar na figura 7, que mostra a foz do rio Piquiri com o rio Paraná. Ainda analisando a imagem é possível observar as propriedades agrícolas no entorno do canal do rio e a pouca expressão da vegetação ciliar. A associação da cor do solo, o uso intenso da agricultura, as práticas equivocadas de conservação do solo e a retirada quase que total são os principais fatores por essa alteração na cor da água, o escoamento superficial e subsuperficial é

direcionado ao fundo do vale, atingindo o canal de drenagem e levando uma grande quantidade de sedimentos para dentro do leito do rio.

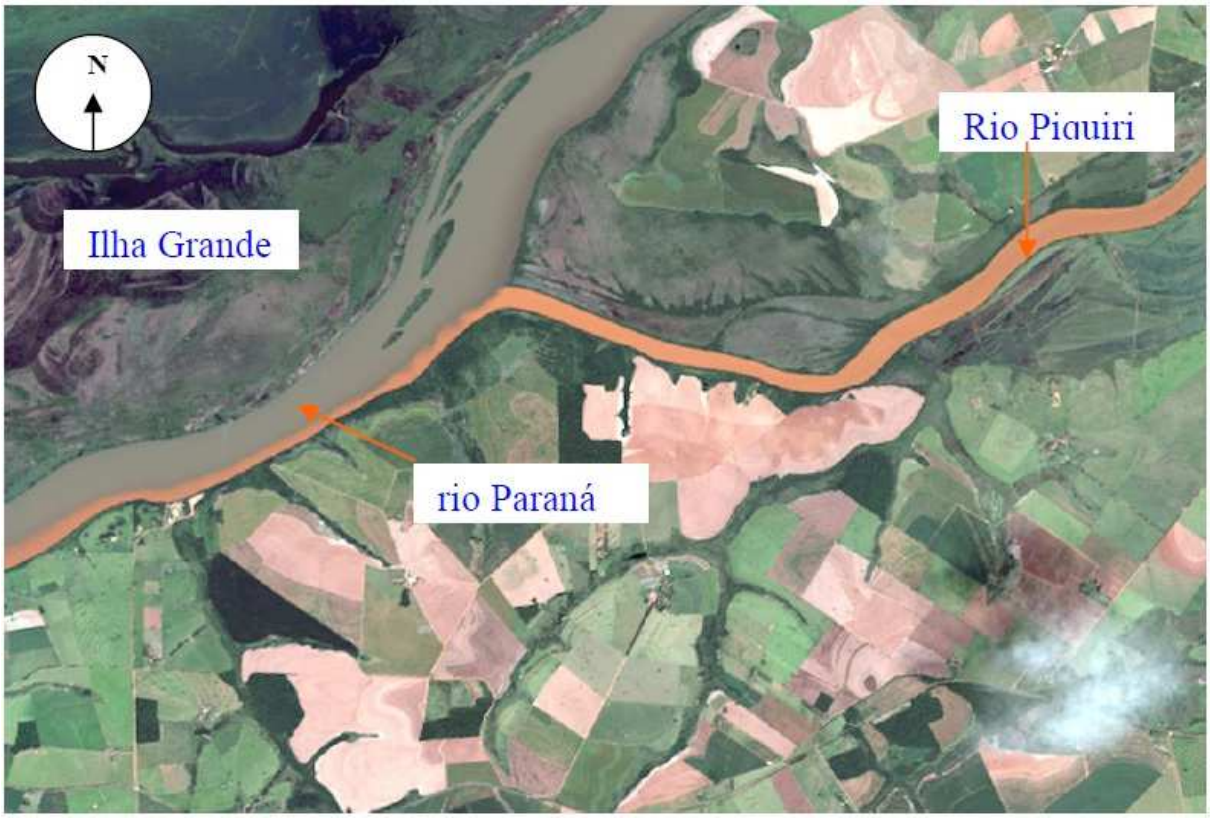

Figura 7: Imagem do encontro da água do rio Piquiri com as águas do rio Paraná.
Fonte: Aguiar, 2009.

A vegetação da bacia do rio Piquiri era composta em todo o setor centro-oeste-norte da Floresta Estacional Semidecidual, com variações em sua composição fisiográfica devido as cotas altimétricas (aluvial, montana e submontana). Enquanto que todo o setor centro-sul estava situada a Floresta Ombrófila Mista também com variações fisiográficas segundo a altimetria, como pode-se observar na Figura 8.

O uso da terra que se intensificou a partir da segunda metade do século XX, tratou de praticamente extinguir a fitogeografia natural que recobria as terras de todo o estado, a expansão agrícola do oeste paranaense está ligada a dois objetivos específicos do governo brasileiro que segundo Zaar (2001) foram motivadas principalmente pela nacionalização da

área que durante os séculos XIX, e início do século XX estiveram ocupadas pelas obrages[1] e também pela política prioritária do governo de expansão das fronteiras agrícolas, visando a agroexportação. O resultado desse levante exploratório acabou por praticamente desaparecer com a cobertura vegetal original da área, restando poucas áreas de preservação.

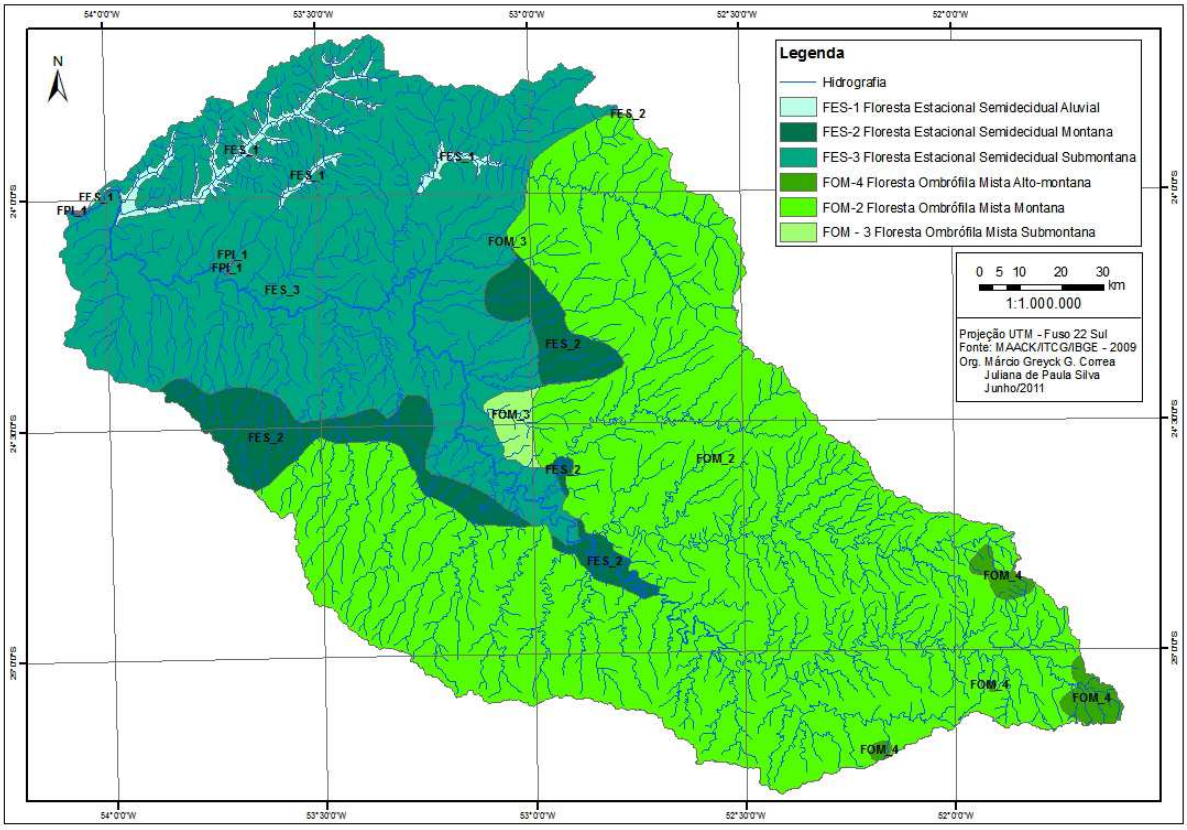

Figura 8: Mapa fitogeográfico da bacia do rio Piquiri-PR.

O modelo de colonização que se sucedeu no centro-oeste paranaense se difere do ocorrido no norte do Paraná, especialmente no que diz respeito às políticas adotadas de "divisão das terras", enquanto no norte as colonizadoras de capital inglês dominaram as negociações das terras tendo como principais compradores antigos produtores de café do interior paulista, no centro-oeste paranaense o público alvo não se limitou apenas aos antigos cafeicultores, mesmo porque as condições climáticas da região não proporcionam

[1] Latifúndios de capital estrangeiro, que extraíam na área produtos como a erva-mate e a madeira com o objetivo de exportá-los através do Rio Paraná. <http://www.ub.edu/geocrit/sn-94-88.htm#2 > Acesso em Mar. 2013.

efetivamente à cultura do café, mas também aos agricultores gaúchos. A Figura 9 mostra os atuais 69 municípios que estão inseridos na bacia do Rio Piquiri, seja com sua área total ou parcial, divisão política resultante do sistema de colonização adotado.

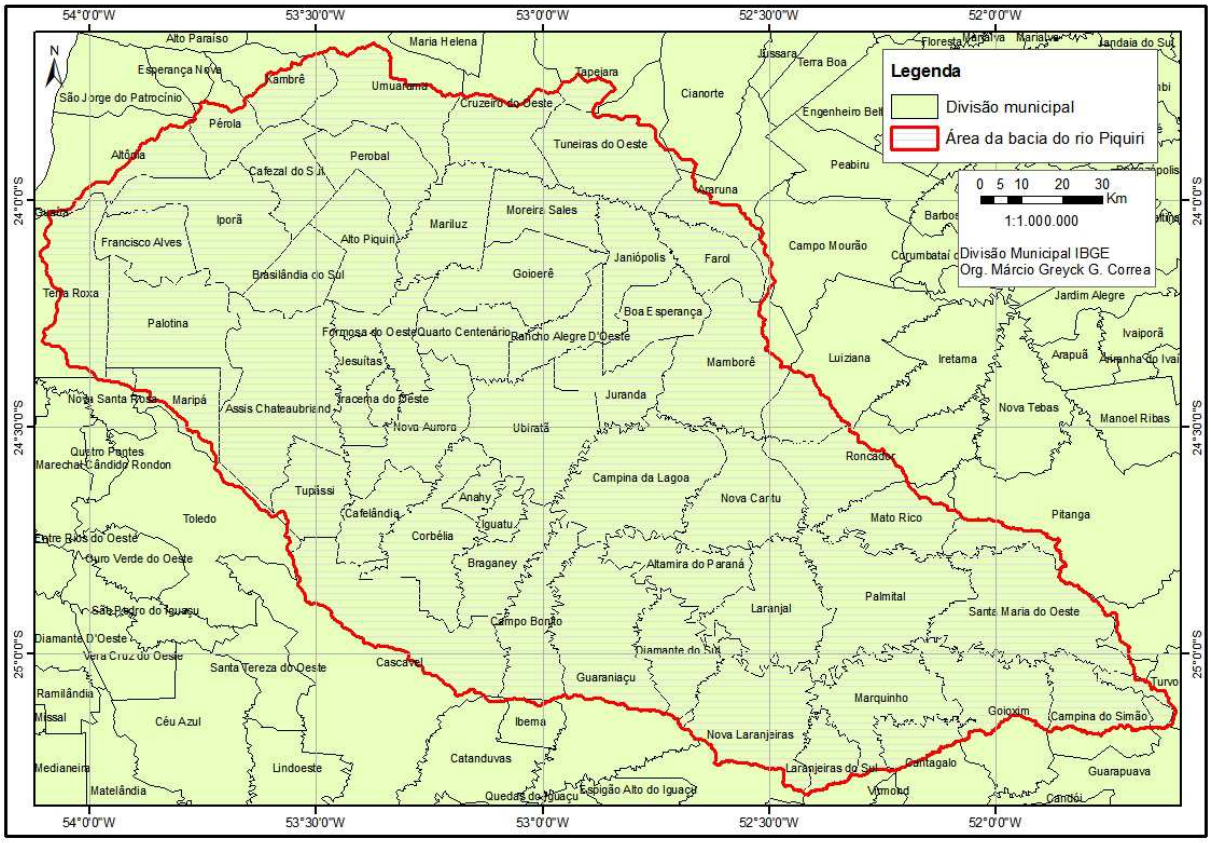

Figura 9: Divisão político-administrativa dos municípios inseridos na bacia do rio Piquiri-PR.

O processo de ocupação da região e as medidas adotadas de produção do espaço refletem diretamente na distribuição da população, analisando a Figura 10 da população e sua distribuição, observa-se que os principais municípios (Cascavel, Toledo, Guarapuava, Umuarama e Campo Mourão) concentram a população total e apenas parte do seu território está inserido na bacia do rio Piquiri, o fato é que, as cidades maiores estão localizadas praticamente fora da área da bacia. A distribuição da população reflete outro fenômeno, a modernização agrícola ao qual o estado do Paraná passou no final do século XX, apesar da área ser essencialmente agropecuária a população reside nas cidades, fato que está

diretamente relacionado às relações de produção do produtor rural com a propriedade, decorrentes do processo de modernização agrícola.

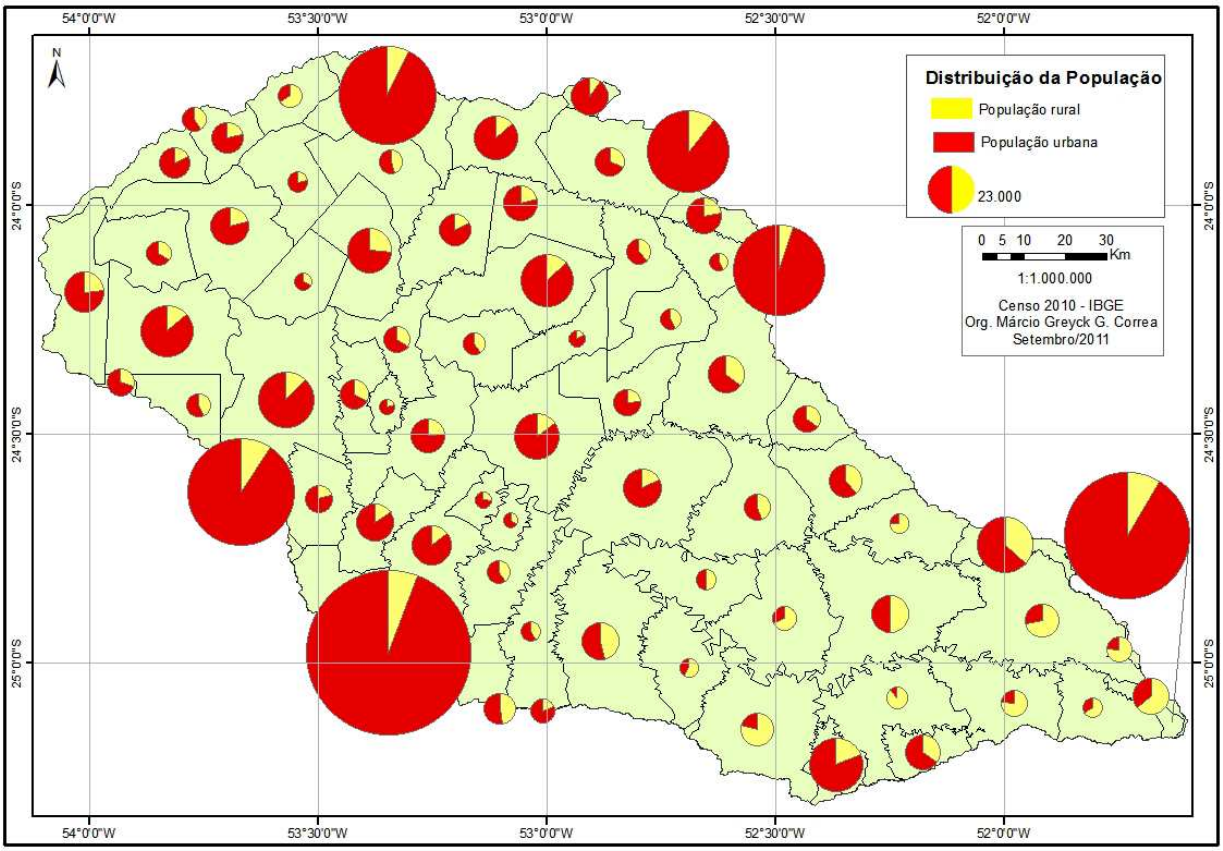

Figura 10: Distribuição da População urbana e rural na bacia do rio Piquiri-PR.

Zaar (2001) discute que o público alvo para as compras das terras do oeste/sudoeste paranaense eram essencialmente agricultores familiares e descendentes de imigrantes europeus (italianos e alemães). Foi principalmente a partir das décadas de 1950 e 1960 que o processo de colonização consolidou-se ao mesmo tempo em que o Brasil procurava meios de atender a demanda internacional de produtos agrícolas, em 1970 inicia-se o processo de modernização da agricultura brasileira visando o mercado internacional de soja e trigo, atualmente o trigo foi substituído pelo milho, que ao ser considerado uma *commodity*[2], passou a ter maior valor no mercado internacional.

[2] *Commodity* é um termo de língua inglesa que significa mercadoria. É utilizado nas transações comerciais de produtos de origem primária nas bolsas de mercadorias. < http://www.desenvolvimento.gov.br/sitio/interna/interna.php?area=5&menu=1955&refr=608> Acesso em Mar. 2013.

A agricultura ainda na atualidade configura-se como a atividade econômica mais importante da região, observando a Figura 11 nota-se que os municípios de Palotina, Assis Chateaubriand, Toledo, Cascavel, Mamborê, Pitanga e Guarapuava destacam-se no valor total da produção agrícola para o ano de 2007 (último censo agropecuário realizado pelo IBGE). Importante observar que os municípios do norte da bacia não aparecem em destaque devido à importância das atividades pecuaristas, assim como no setor centro-sul com as atividades silvicultoras e pecuaristas (com exceção de Guarapuava).

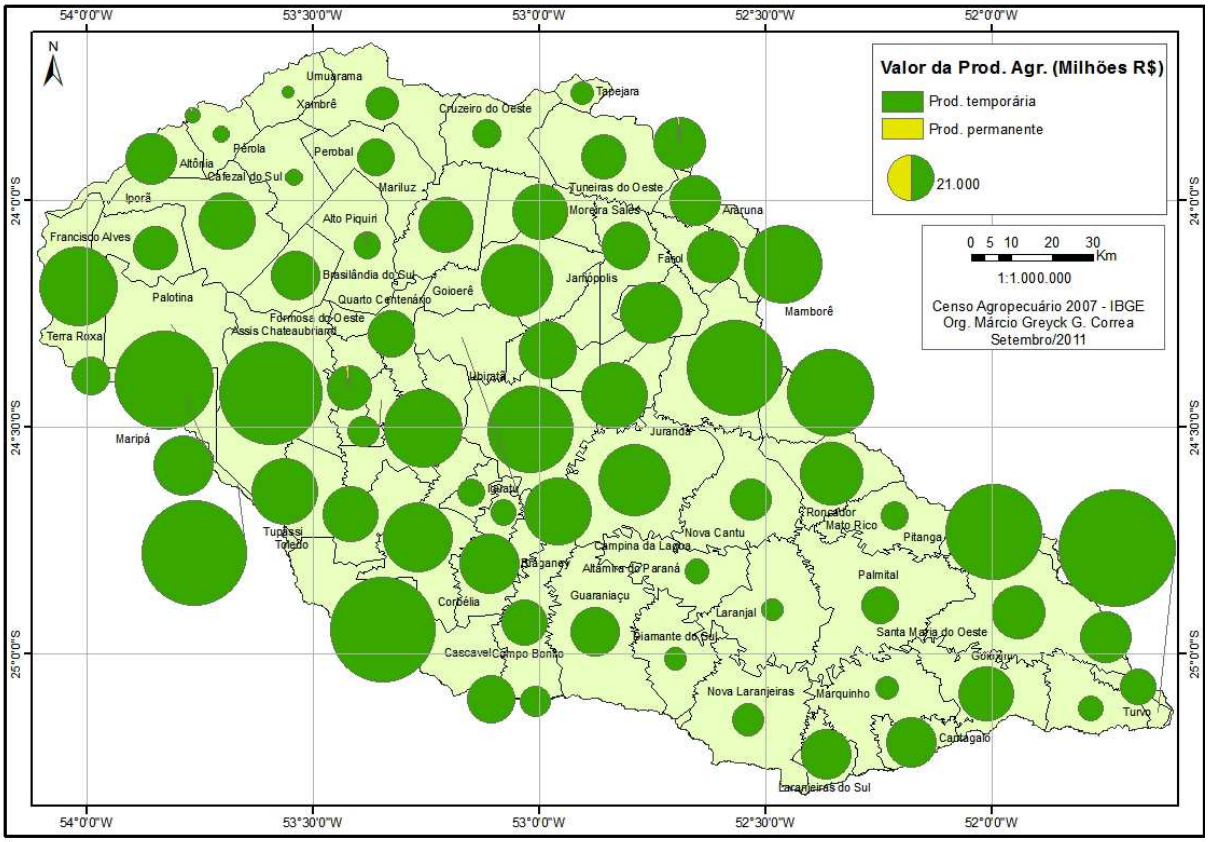

Figura 11: Valor da produção agrícola total para o ano de 2007 nos municípios inseridos na bacia do rio Piquiri-PR.

A agricultura moderna implantou um novo modelo de ocupação da terra, junto as máquinas, os insumos e à tecnologia de produção, o capital investido pelas multinacionais e as políticas de crédito do governo incentivaram a criação de parques agroindustriais e cooperativas agrícolas como suporte para a produção e beneficiamento de grãos, a Figura 11

indica também a distribuição da produção temporária e permanente, em praticamente todos os municípios as atividades temporárias predominam, reflexo do modelo agroexportador de grãos adotado pelo Brasil durante o século XX.

Belusso e Serra (2006) discutem o fato da apropriação do espaço geográfico no oeste paranaense fazendo um estudo de caso no município de Palotina, e concluem que as cooperativas agrícolas desempenham um papel importante na manutenção da tecnificação do espaço agrário, uma vez que priorizam funções econômicas de expansão de mercado, os autores fazem uma crítica no que diz respeito ao papel destas cooperativas, uma vez que não desempenham seu caráter cooperativo efetivamente, além de perpetuarem a segregação do espaço agrário.

O processo de ocupação do centro-oeste/sudoeste e noroeste do Paraná quando analisado em conjunto com as condições naturais revelam uma paisagem ocupada de forma diferente ao longo do espaço geográfico e do tempo. A Figura 12 mostra de forma clara essas diferenças, o predomínio das atividades agrícolas nas áreas dominadas pelas rochas básicas, solos mais estáveis e férteis e um clima mais úmido favoreceu essas atividades econômicas, ao contrário do setor norte da bacia do rio Piquiri, onde predominam atividades agropecuárias, pastagens estas que se situam sobre rochas sedimentares e solos arenosos, mais vulneráveis à erosão e de fertilidade inferior ao anterior.

Atualmente estas pastagens vêm sendo ocupadas pela produção sucroalcooleira com estabelecimento de usinas e vastas áreas destinadas a produção da cana-de-açúcar, modelo produtivo que já mostra seus efeitos devastadores sobre o meio ambiente, principalmente nos solos, sem contar as condições trabalhistas que muitos trabalhadores rurais da região estão expostos, trabalhando em condições precárias.

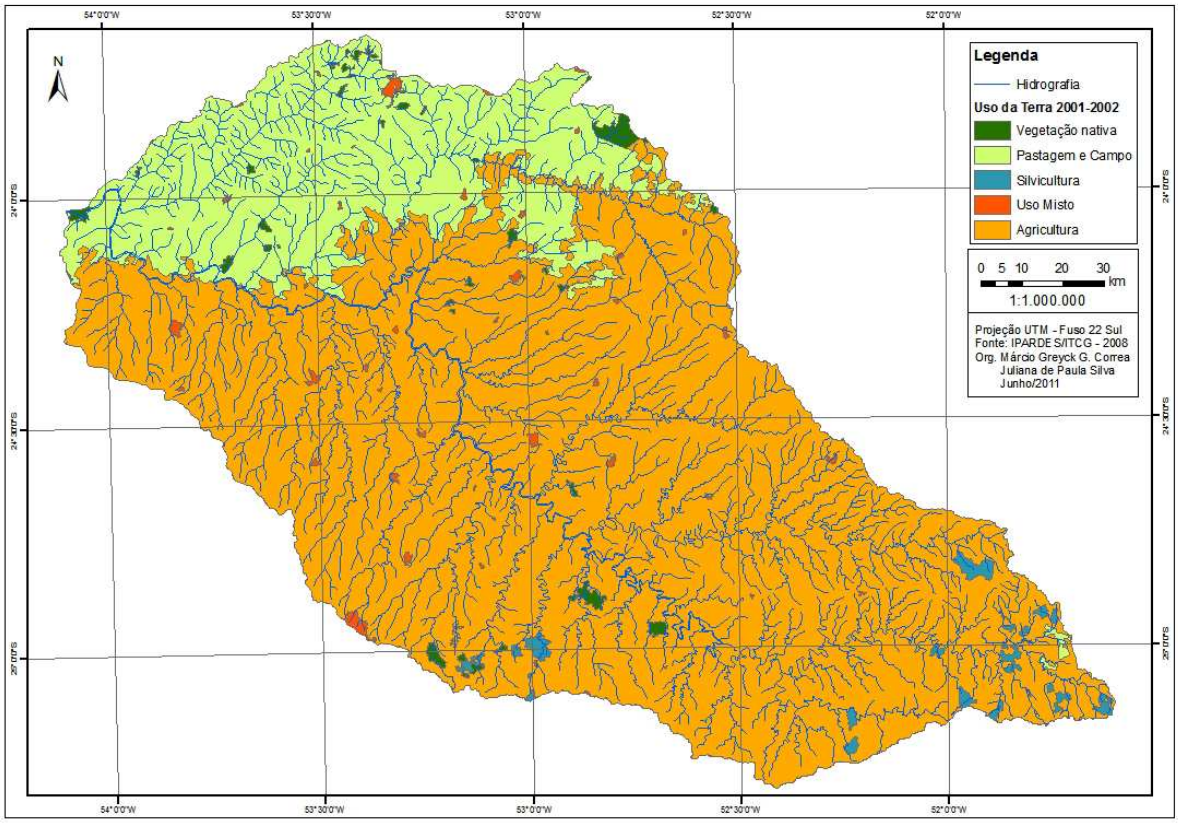

Figura 12: Mapa de uso da terra da bacia do rio Piquiri-PR.

As relações e a dinâmica entre a estrutura geológica, a altitude, o tipo climático e o uso e ocupação da terra quando analisados conjuntamente, revela a realidade da divisão política administrativa e distribuição da população, que se estabeleceu ainda no processo de colonização e reflete em diferenças paisagísticas e de produção do espaço ainda nos dias atuais.

Com base nessa realidade interativa e dinâmica dos elementos naturais e sociais, este trabalho apresenta no capítulo de fundamentação teórica uma análise das contribuições da teoria sistêmica na Geografia, as interações decorrentes na bacia hidrográfica proveniente do ciclo hidrológico, em especial o papel da precipitação pluviométrica na dinamização destes processos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 A teoria sistêmica, a análise da paisagem e a bacia hidrográfica

No decorrer da história do conhecimento humano a ciência desenvolveu teorias que auxiliaram, e ainda auxiliam na compreensão da realidade. A ciência moderna caminha em direção à compreensão dos fenômenos, sejam eles de ordem física, biológica ou social, baseada em princípios pressupostos na Teoria Geral dos Sistemas.

Ludwig Von Bertalanffy foi um dos precursores na teorização dos sistemas, o biólogo defendia uma visão organicista nos estudos dos seres vivos. Em sua obra "Teoria Geral dos Sistemas" deixa claro o receio que teve inicialmente, mas com o passar do tempo percebeu que não se tratava apenas de "uma idiossincrasia pessoal [...] mas correspondia a uma tendência do pensamento moderno" (Bertalanffy, p.126, 2010).

Os sistemas, que segundo Bertalanffy (2010) "é um complexo de elementos em interação" podem ser considerados como sistemas fechados ou sistemas abertos. Os sistemas naturais, por sua origem interativa com o meio, são sistemas abertos e apresentam uma interação dinâmica das partes que compõe um todo complexo. Apesar de Bertalanffy ter aplicado sua teoria sistêmica na Biologia, áreas das ciências exatas, sociais e humanas também se beneficiaram de tais pressupostos, a Geografia não se opôs à corrente do pensamento sistêmico, e de forma mais eficaz, a Geografia Física deu um importante impulso nos estudos dos sistemas terrestres, introduzindo assim o conceito de geossistema.

Os estudos do geossistema se desenvolveram em diferentes vertentes do conhecimento geográfico, as contribuições de Sotchava (1977), Tricart (1977), Bertrand e Beroutchachvili (1978), Christofoletti (1981) e Monteiro (2001) foram primordiais para a consolidação das concepções sistêmicas no campo da geografia. Apesar da dificuldade de aplicabilidade do geossistema, o arcabouço teórico-metodológico decorrente de tais teorias corroborou e muito

para a evolução de outros conceitos abordados na Geografia Física, entre todas as concepções, desde os componentes bióticos, abióticos e antrópicos até as escalas horizontais e verticais da análise sistêmica a “paisagem” permeia os estudos direcionados a esta linha de pesquisa na Geografia.

Estudos desenvolvidos em diversas linhas de pesquisa da Geografia Física utilizam-se da teoria sistêmica como abordagem integradora das partes que compõem o ambiente, Fierz (2008) ao estudar a fragilidade ambiental no litoral de São Paulo sob os auspícios de abordagens sistêmicas em geomorfologia costeira, obteve resultados importantes para a compreensão dos *inputs* e *outputs* de energia e matéria para cada subsistema litorâneo estudado.

Caracristi (2007) discute a apropriação das teorias sistêmicas no âmbito climático, apontando uma visão crítica desta teoria na climatologia e conclui que o clima é um padrão de interconexões, que ele contém e está contido na paisagem como um todo, e não apenas como pano de fundo desta, e que estas conexões (espaciotemporais) são na verdade uma complexa teia de relações que integram a paisagem natural.

Os estudos apresentados por Monteiro (2001) impulsionaram a Geografia brasileira na análise sistêmica da paisagem. Ao considerar sob um enfoque climático e dinâmico dos elementos que compõem a paisagem, seus estudos auxiliaram na compreensão do funcionamento interativo dos sistemas atmosféricos e suas derivações. Mesmo demonstrando “certa insatisfação”, em sua obra “Geossistema: a história de uma procura”, talvez propositalmente, a crítica do autor aos estudos sistêmicos na Geografia Física suscitou na comunidade geográfica uma preocupação no que diz respeito à empregabilidade destes estudos. Ao relatar seus sucessos e insucessos como pesquisador, professor e geógrafo, Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro auxiliou em muito a integração da Geografia Física à

Geografia Humana ao mesmo tempo em que mostrou a importância da análise sistêmica na compreensão das relações sociedade/natureza.

Compreender os mecanismos atmosféricos é de extrema importância para entender as relações existentes no planeta, pois é na interface superfície/atmosfera que ocorrem as trocas de energia responsáveis pelo ciclo da vida. É nessa "interface" que o homem produz o espaço, adequando e modificando o meio, conforme suas necessidades. E é na bacia hidrográfica que estas interações se mostram de forma mais compreensível, uma vez que configura uma importante unidade de análise da paisagem. Paisagem esta que segundo Monteiro (1974) é uma:

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

A unidade de análise da paisagem que compreende a bacia hidrográfica reflete os processos naturais decorrentes em determinados espaços, sendo assim verifica-se a importância destes estudos no contexto geográfico. Faz necessário compreender que a bacia hidrográfica para Rodrigues e Adami (2005, p. 147-148) pode ser considerada:

> [...] um sistema que compreende um volume de materiais, predominantemente sólidos e líquidos, próximos à superfície terrestre, delimitado interno e externamente por todos os processos que, a partir do fornecimento de água pela atmosfera, interferem no fluxo de matéria e de energia de um rio ou de uma rede de canais fluviais. Inclui, portanto, todos os espaços de circulação,

> armazenamento, e de saídas de água e do material por ela transportado, que mantêm relações com esses canais.

A bacia hidrográfica como um subsistema terrestre, abriga em seus vários níveis, particularidades que são dinamizadas pela entrada da água e a complexidade ao qual se delineou anteriormente sobre a teoria geral dos sistemas. A água sendo o elemento que perpassa por todas as escalas do sistema, é introduzida pelo sistema superfície-atmosfera, que por sua vez tem sua própria dinâmica e interage constantemente com outros sistemas terrestres, seja por meio de trocas de energia ou matéria.

Para Zavoianu (1985), a precipitação é a principal fonte de matéria para um sistema hidrográfico, e a radiação solar a maior fonte de energia. Na Figura 13, pode-se observar detalhadamente os processos que ocorrem em simultâneo no sistema bacia hidrográfica, a entrada da água em forma de precipitação até suas decorrências nos processos hidrológicos e hidro-geomorfológicos, bem como sua interação com a vegetação, a rocha, os solos e o próprio relevo são responsáveis por uma dinâmica de troca de materiais e energia que são característicos e específicos de cada sistema hidrográfico.

Importante ressaltar que a água não é apenas uma fonte importante de entrada de matéria, mas conjuntamente com a radiação solar ela também fornece energia, uma vez que a ação física da água decorre em processos erosivos em várias escalas observacionais.

A intensidade destes fenômenos dependerá do substrato que compõe o sistema hidrográfico, como a intensidade da radiação, da precipitação pluviométrica, a altimetria, a profundidade e a composição dos solos, a cobertura vegetal e a densidade de drenagem por exemplo.

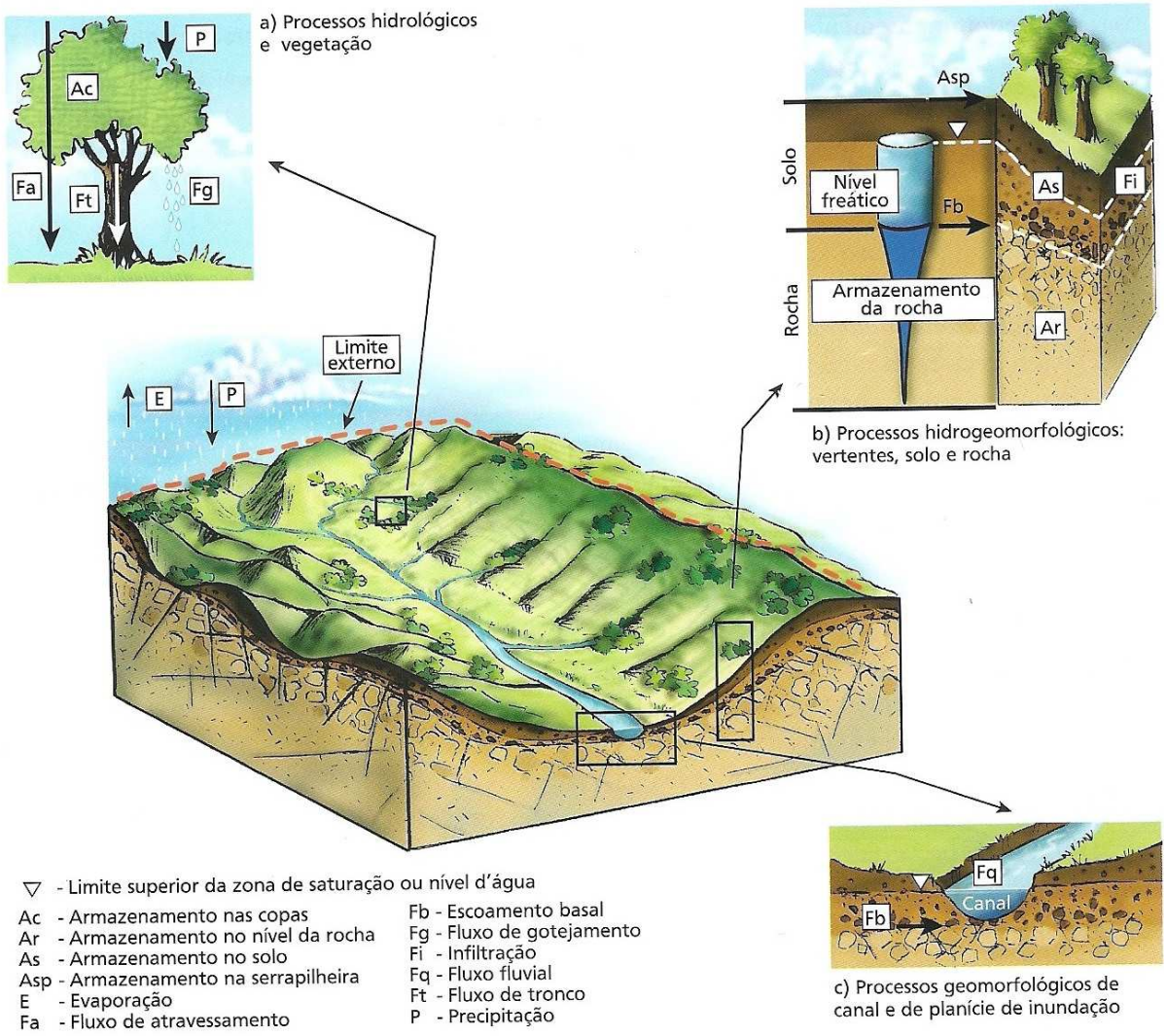

Figura 13: Processos decorrentes da entrada de água no sistema Bacia Hidrográfica.
Fonte: Rodrigues e Adami (2011).

Para o desenvolvimento desta pesquisa faz-se necessário compreender detalhadamente os mecanismos de troca e transferência de energia e matéria que ocorrem no sistema superfície-atmosfera, pois só assim pode-se efetivamente compreender os processos de formação e determinação da precipitação pluviométrica bem como a realização de uma análise detalhada da mesma.

2.2 As trocas de energia no Sistema-Superfície-Atmosfera (SSA)

A radiação solar não é importante apenas como fonte energética a ser explorada pela sociedade ou para o desenvolvimento biológico das plantas, mas segundo Ferreira (2006), "a

radiação proveniente do Sol é responsável pelo abastecimento de energia para todos os fenômenos meteorológicos que ocorrem na atmosfera.” As faixas latitudinais climáticas da Terra são determinadas pela incidência da radiação solar na superfície; os raios solares incidem diferentemente tanto espacialmente quanto temporalmente e os fenômenos atmosféricos decorrentes na bacia do rio Piquiri estão submetidos a estas condicionantes.

A distância entre a Terra e o Sol varia no decorrer do ano, sua distância média de $1{,}496\ 10^8$ km também se altera; conhecida por Unidade Astronômica, segundo Pereira et al. (2002), pode variar durante o período em que a Terra se encontra mais próxima do Sol (periélio) de $1{,}47\ 10^8$ km para $1{,}52\ 10^8$ km (afélio). Essa diferenciação da distância Terra-Sol e o posicionamento sazonal da Terra no plano elíptico influenciam diretamente no balanço médio da radiação incidente.

A média da radiação solar incidente na superfície terrestre é de $1{,}52\ 10^8 W/m^2$, porém toda essa radiação se distribui de forma desigual no planeta; segundo Ometto (1981) a constante solar oscila ± 2% em um ciclo anual. Para Varejão-Silva (2006) a constante solar sofre interferência das manchas solares e essa variabilidade pode ser mensurada pelo número de manchas solares diárias.

Devido à inclinação do eixo e a esfericidade terrestre, o ângulo de incidência dos raios variam das baixas para as altas latitudes, quanto maior o ângulo zenital menor a irradiância solar, fato que observa-se quando se direciona do equador terrestre para os pólos. Na zona intertropical, a incidência direta da radiação proporciona um acúmulo de energia, fato que concerne a esta região do planeta características específicas quanto ao balanço de energia disponível. Para Christopherson (2012) na região equatorial a termopausa recebe 2,5 vezes mais insolação durante o ano que a termopausa acima dos pólos, segundo Houghton (1954) a concentração de energia na zona tropical gera um superávit, em média, cinco vezes maior que

o total recebido nas altas latitudes; esse fato a caracteriza como uma zona exportadora de energia para as médias e altas latitudes.

As variações na incidência da radiação resultam em diferentes processos de aquecimento da superfície, ou seja, “a temperatura do ar expressa de maneira simples a energia contida no meio. Essa energia, por sua vez, vai-se propagando em processos de difusão turbulenta, envolvendo-se contínua e parcialmente na tentativa de busca de equilíbrio” Ometto (1981, p. 132). A atmosfera terrestre “processa” toda a energia disponível, para isso existem as trocas verticais e horizontais de energia.

A superfície terrestre transfere energia para a atmosfera por meio de calor latente e calor sensível e os processos envolvidos nestas trocas correspondem, principalmente, a radiação e a condução. As grandes células de circulação global transferem, de forma geral, a energia das regiões de acúmulo (latitudes baixas) para as regiões de déficit energético (latitudes médias e altas). O ar que sobe nas proximidades do equador, movimentos ascendentes, desce nos subtrópicos por meio de movimentos subsidentes, que ocorrem a aproximadamente 30° N-S através da célula de Hadley segundo Dias e Silva (2009).

Os movimentos convectivos proporcionam as trocas verticais de energia, por condução do ar mais quente para altitudes elevadas da atmosfera, fato que se intensifica na zona tropical. Para Dias e Silva (2009) o excesso de energia nos trópicos faz o ar aquecido se elevar, induzindo assim a formação de nuvens profundas que podem chegar até a tropopausa, aos 15 km de altura. Todo o excesso energético dessa faixa do planeta proporciona a formação de sistemas nebulosos de importante atividade na distribuição da umidade na Terra. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é a expressão maior em termos meteorológicos, desse excedente de energia.

Pelo fato da atmosfera ser um fluído, os fenômenos se propagam através de ondas; segundo Dias e Silva (2009), as ondas atmosféricas e as frentes são as encarregadas de

redistribuir o calor ao longo das baixas, médias e altas latitudes horizontalmente. As frentes quando se direcionam dos pólos para o equador, carregam características de frentes frias, tendo menor teor de umidade e baixas temperaturas, quando essas frentes se direcionam do equador em direção aos pólos, constituem-se de maior temperatura e umidade.

Os ciclones que funcionam como grandes máquinas de distribuição de energia através da ascensão do ar e de ventos rotacionais, se organizam devido a convecção de fluxos de calor sensível e latente do oceano para a atmosfera, o que resulta em um movimento circular em torno de um centro de baixa pressão, segundo Mendonça e Danni-Oliveira (2007).

Existem outras formas da atmosfera realizar a transferência de energia, tais como: o deslocamento regional de ventos e massas de ar associadas às frentes e ciclones; sistemas convectivos de mesoescala e as correntes de jato, que também distribuem calor ao longo do globo e realizam importantes trocas de energia para a manutenção ou a busca do equilíbrio energético natural do planeta.

O funcionamento sistêmico da radiação solar incidente e dos mecanismos atmosféricos irá resultar em uma distribuição zonal dos climas sobre a superfície terrestre, além de conferir características singulares às mais diversas paisagens do globo, principalmente quando os elementos geográficos são analisados de forma associada à dinâmica da atmosfera, e é nesse contexto que destaca-se a precipitação pluviométrica.

2.3 A precipitação pluviométrica

Historicamente a chuva sempre esteve relacionada ao cotidiano dos seres humanos, ainda na pré-história o fenômeno natural chamava a atenção das primeiras sociedades que habitaram a Terra, essa curiosidade não se limitava ao fenômeno da chuva em si, mas a todos os processos decorrentes, como as nuvens, as descargas elétricas e mesmo a forma com que a água das chuvas chegava até a superfície por gotículas ou cristais de gelo. As civilizações antigas costumavam associar tais fenômenos às divindades, pois não conheciam os processos

e mecanismos físicos e químicos da atmosfera. Na antiga Grécia era comum a associação dos fenômenos naturais a alguma divindade (deuses ctônicos), aos fenômenos atmosféricos associavam por exemplo, Éolo ao vento, Euro o deus do vento do oriente e Noto o do vento do sul assim como Hélio era o deus sol, Hesíodo (1991).

Com o passar do tempo e a evolução do conhecimento os fenômenos climáticos passaram a ter explicações fundamentadas em observações e pesquisas, os elementos climáticos, entre eles a chuva, ainda influencia o cotidiano da sociedade moderna, talvez não mais despertando a curiosidade como outrora mas influenciando diretamente nas atividades decorrentes do sistema econômico planetário e nos modos de vida das pessoas.

A precipitação desempenha importante papel no funcionamento do ciclo hidrológico, Ometto (1981) vai além e discute que “por ser de suma importância o suprimento de água aos seres vivos, a precipitação adquire importância vital”, o mesmo define a precipitação como o resultado final da condensação do vapor d’água e que ao atingir determinadas dimensões rompem a tensão de suporte e caem em direção ao solo em forma de chuva e apresenta irregularidades quanto a sua distribuição espacial no globo. O processo de formação das chuvas bem como seus diferentes tipos representa um todo interagindo em constante evolução na troposfera terrestre, antes de se chegar ao conceito de precipitação proposto anteriormente, é importante que se entenda os processos que envolvem tal fenômeno.

A atmosfera apresenta variações em sua composição química, e um dos elementos mais atuantes e importantes para a dinâmica atmosférica do planeta é o vapor d’água. Conti (1998) relembra que os oceanos são as principais fontes fornecedoras de água para a atmosfera e que ao serem aquecidos pela radiação solar parte da água evapora-se. Ferreira (2006) explica que para que ocorra o processo de evaporação a molécula de água absorve energia proveniente do sol (calor latente), quando a parcela de ar satura-se, ou seja, excede a sua capacidade de reter o vapor de água, ocorre a temperatura do ponto de orvalho e a

formação de nuvens. Para Varejão-Silva (2006) as nuvens são um conjunto de gotículas de água, cristais de gelo e um conglomerado de partículas sólidas (litometeoros) em suspensão na atmosfera, a concentração de gotículas podem variar entre 100 cm^{-3} a 1000 cm^{-3}.

Existe uma infinidade de tipos de nuvens, o Atlas Internacional de Nuvens organizado pela WMO identifica três estágios divididos em 10 gêneros de nuvens e cada gênero pode ser composto de espécies e variedades distintas. Os estágios estão divididos entre nuvens altas, médias e baixas além das estruturas de desenvolvimento vertical. A Figura 14 mostra os dez gêneros de nuvens com suas descrições e apenas alguns exemplos de espécies e variedades.

Classificação dos gêneros de nuvens	Exemplos de espécies e variedades de nuvens
Cirrus(CI): aspecto delicado, sedoso ou fibroso, cor branca brilhante.	*Cirrus floccus e Cirrocumulus floccus* *Cirrus uncinus*
Cirrocumulus(CC): delgadas, compostas de elementos muito pequenos em forma de grânulos e rugas. Indicam base de corrente de jato e turbulência..	
Cirrostratus(CS): véu transparente, fino e esbranquiçado, sem ocultar o sol ou a lua, apresentam o fenômeno de halo (fotometeoro).	
Altostratus (AS): camadas cinzentas ou azuladas, muitas vezes associadas a altocumulus; compostas de gotículas superesfriadas e cristais de gelo; não formam halo, encbrem o sol; precipitação leve e contínua.	
Altocumulus (AC): banco, lençol ou camada de nuvens brancas ou cinzentas, tendo geralmente sombras próprias. Constituem o chamado "céu encarneirado".	*Altocumulus cumulogenitus* *Stratocumulus cumulogenitus*
Stratus (St): muito baixas, em camadas uniformes e suaves, cor cinza; coladas à superfície é o nevoeiro; apresenta topo uniforme (ar estável) e produz chuvisco (garoa). Quando se apresentam fracionadas são chamadas fractostratus (FS).	
Stratocumulus (SC): lençol contínuo ou descontínuo, de cor cinza ou esbranquiçada, tendo sempre partes escuras. Quando em vôo, há turbulência dentro da nuvem.	
Nimbostratus (NS): aspecto amorfo, base difusa e baixa, muito espessa, escura ou cinzenta; produz precipitação intermitente e mais ou menos intensa.	
Cumulus (Cu): contornos bem definidos, assemelham-se a couve -flor; máxima freqüencia sobre a terra de dia e sobre a água de noite. Podem ser orográficas ou térmicas (convectivas); apresentam precipitação em forma de pancadas; correntes convectivas. Quando se apresentam fraccionadas são chamadas fractocumulus (FC). As muito desenvolvidas são chamadas cumulus congestus.	*Cumulonimbus Capillatus praecipitatio arcus* *Cumulus congestus em colunas*
Cumulonimbus (CB): nuvem de trovoada; base entre 700 e 1.500 m, com topos chegando a 24 e 35 km de altura, sendo a média entre 9 e 12 km; são formadas por gotas d'água, cristais de gelo, gotas superesfriadas, flocos de neve e granizo. Caracterizadas pela "bigorna": o topo apresenta expansão horizontal devido aos ventos superiores, lembrando a forma de uma bigorna de ferreiro, e é formado por cristais de gelo, sendo nuvens do tipo Cirrostratos (CS).	

Figura 14: Gêneros de nuvens e exemplos de espécies e variedades.
Fonte: INMET[3]
Org. Correa (2011)

Determinados tipos de nuvens estão relacionados a tipos específicos de chuva, as chuvas são classificadas de acordo com a sua gênese, considerando os processos atmosféricos envolvidos, Mendonça e Danni-Oliveira (2007) apresenta os três tipos de chuva.

[3] Atlas de nuvens. Disponível em < http://www.inmet.gov.br/html/informacoes/sobre_meteorologia/atlas_nuvens/atlas_nuvens.html>. Acesso em Mar. 2013.

Chuva convectiva (origem térmica) – formam-se por convecção do ar quente e úmido que ao ser forçado à expansão, ascende para níveis elevados da Troposfera e passa por resfriamento adiabático, resfriando-se a parcela de ar se adensa e faz o movimento turbilhonar de retorno à superfície, a parcela de ar ao se resfriar atinge a saturação, favorecendo a formação de nuvens, principalmente do tipo cumuliforme. A este tipo de chuva estão associados eventos de chuvas intensas, devido o alto desenvolvimento vertical das nuvens é comum a presença de granizo nos episódios de precipitação, e são caracterizadas por ocorrerem no final da tarde, após um dia de aquecimento intenso.

Chuva orográfica (associada ao relevo) – devido à convecção forçada pelo relevo, a parcela de ar é levada a ascender e resfria-se adiabaticamente como resultante da descompressão em níveis mais elevados da troposfera. O processo de resfriamento possibilita a formação de nuvens estratiformes e cumuliformes.

Chuva frontal – está associada à ascensão de ar úmido ao longo da rampa das frentes, elas podem ter características de frentes frias ou quentes e dependendo da intensidade das massas de ar e diferenças térmicas entre elas, podem gerar nuvens cumuliformes e ocorrência de chuvas intensas.

No contexto climático da bacia do rio Piquiri, a predominância de determinados tipos de chuvas está diretamente associado aos tipos de tempo em diferentes épocas do ano, é normal que no verão por exemplo, devido ao maior aquecimento do ar pela radiação solar, aumente a freqüência de chuvas do tipo convectiva, da mesma forma que no inverno, com o aumento sensível da passagem de frentes frias pelo continente, aumente a frequência de chuvas do tipo frontal.

Vários estudos foram realizados em Climatologia tendo como abordagem a precipitação pluviométrica, temas comuns abordados nestes trabalhos é a variabilidade da pluviosidade, como especificado anteriormente, em escala global as chuvas estão distribuídas

irregularmente na superfície do planeta, no decorrer do tempo os estudos voltados a esta área da Climatologia foram mudando de enfoque e abrangendo cada vez mais variáveis responsáveis pela variabilidade do fenômeno.

Angelocci e Sentelhas (2007, p. 1) definem variabilidade climática "como uma variação das condições climáticas em torno da média climatológica". A variabilidade climática embasada nos pressupostos de Sorre (1951) e a noção de ritmicidade dos estados de tempo, podendo estes estados serem quantificados e analisados, se tornou em uma importante ferramenta de análise e compreensão das interações entre a superfície e a atmosfera, bem como os mecanismos resultantes desta interação. Tucci (2002, p.58) acrescenta que a variabilidade climática é "utilizada para as variações de clima em função dos condicionantes naturais do globo terrestre e suas interações."

Conti (1975) desenvolveu em sua tese de doutoramento uma pesquisa sobre a circulação secundária e a orografia na formação e gênese das chuvas no litoral paulista e constatou as interações da atmosfera com a superfície do continente nas regiões tropicais ao mesmo tempo em que argumentou a importância da rede de coletas de superfície para o entendimento destas interações. Posteriormente vários estudos foram realizados pelo mesmo autor tomando como elemento climático a precipitação pluviométrica, seja por excessos de chuvas nas regiões tropicais ou pela falta desta no semi-árido nordestino, Conti (1995).

Com o passar do tempo a evolução das técnicas de observação da atmosfera terrestre e o avanço dos estudos meteorológicos proporcionaram às pesquisas acerca da pluviosidade um análise detalhada das condições de tempo responsáveis pela dinâmica das chuvas.

Monteiro (1968, 1969), Nimer (1979), Nery et. al (2002, 2005), Baldo et. al (2001) e Nunes et al. (2009) desenvolveram estudos da precipitação pluviométrica no centro-sul do Brasil, seja enfatizando a dinâmica atmosférica ou fazendo análises clássicas da distribuição e

variabilidade pluvial ambos foram importantes para o conhecimento do clima do sul do país e suas especificidades. No Paraná os estudos voltados para a variabilidade pluvial em bacias hidrográficas forneceram importantes subsidio ao planejamento ambiental/territorial. Destaque para os estudos de Baldo (2006) que analisou a variabilidade da precipitação na bacia do Rio Ivaí e constatou que as maiores concentrações das chuvas ocorrem nos setores mais elevados da bacia, com predomínio do clima subtropical úmido, além de diagnosticar a ocorrência de eventualidades extremas conjuntamente à atuação de fenômenos como El Niño e La Niña.

Diferentes pontos de vista que convergem sempre para um mesmo objetivo, a compreensão do fenômeno da precipitação pluviométrica, fato climático de extrema importância para o desenvolvimento e distribuição da vida vegetal e animal na Terra. A disponibilidade hídrica é analisada não apenas pela distribuição e regime pluviométrico, mas pelos processos que envolvem a evaporação e a evapotranspiração decorrente na bacia hidrográfica.

2.4 O ciclo hidrológico e os processos de evaporação e evapotranspiração no sistema hidrográfico

O ciclo hidrológico corresponde ao percurso da água no sistema terrestre, para Silveira (2001, p. 35) “é um fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera”. Em escala global este ciclo pode ser considerado fechado, mas quando analisado em escalas inferiores do sistema terrestre ele passa a ser compreendido como um ciclo aberto. O vapor de água pode ser considerado a fase inicial do ciclo hidrológico, é através do fenômeno da evaporação e evapotranspiração que a água em forma de vapor é emitida pela superfície dos oceanos e superfícies continentais (principalmente rios, lagos e seres vivos) e chega até a atmosfera, onde é acumulada nas nuvens e retorna a superfície em

forma de precipitação, sendo as chuvas a sua forma mais comum, apesar de ocorrer também em forma de neve e granizo.

No sistema bacia hidrográfica o ciclo hidrológico associa-se não apenas ao processo de precipitação, mas também as condições morfológicas das vertentes, a densidade da drenagem ao qual a água será escoada e ao tipo de solo (rocha matriz/micro e macro estruturas) e a própria cobertura do solo. A água da chuva infiltra-se no solo, e dependendo dos tipos de estruturas a infiltração pode ser facilitada ou não, a ausência de vegetação facilita o escoamento superficial, da mesma forma que uma área florestada tende a amenizar o impacto das gotas de água e facilitar a infiltração, bem como a declividade acentuada acelera o escoamento e áreas planas tendem a acumular e infiltrar mais água.

A bacia do rio Piquiri apresenta uma intensa atividade agrícola, a vegetação nativa já não apresenta-se de forma significativa na área, segundo Pereira et. al. (2002) dependendo do tipo de cobertura vegetal, a interceptação da água da chuva e a sua infiltração sofrerá variações, isso dependerá da área foliar do tamanho e estádio das espécies. Em áreas com culturas anuais/sazonais a interceptação não será a mesma que em áreas de florestas nativas (espécies diversas) ou reflorestadas. Uma parte da precipitação fica retida nos troncos, folhas e ramos das plantas (precipitação armazenada pela vegetação) e a outra parte atinge o solo (precipitação interna), a Figura 15 mostra de forma esquemática como ocorrem esses dois tipos básicos de interceptação da precipitação pluviométrica pela vegetação até chegar no solo.

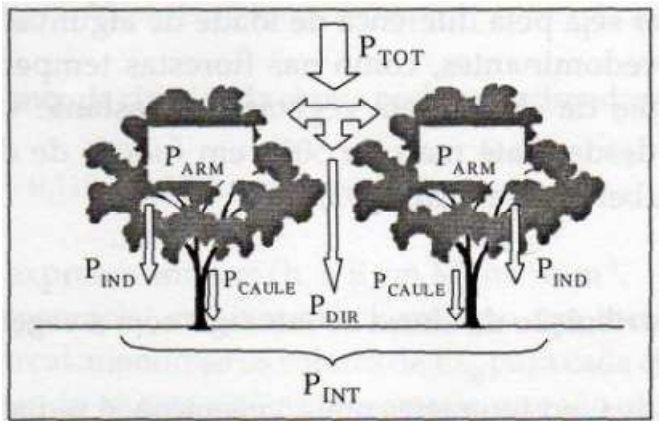

Figura 15: Esquema da interceptação da precipitação pluviométrica pela vegetação até atingir o solo.
Fonte: Pereira et al. (2002)

P_{TOT}: precipitação total

P_{ARM}: precipitação armazenada pela vegetação

P_{IND}: precipitação indireta

P_{CAULE}: precipitação escoada pelo caule ou tronco

P_{INT}: precipitação interna

P_{DIR}: precipitação direta

A água armazenada no sistema bacia hidrográfica será regulada (quantidade de água disponível no sistema) por meio de dois fenômenos determinantes, a evaporação e a evapotranspiração. A evaporação está relacionada ao processo de mudança do estado físico da água disponível no ambiente, de forma mais abrangente que a evapotranspiração, trata-se da passagem da água do estado líquido ou sólido para o estado gasoso, isso ocorre em toda superfície do planeta e a energia responsável por esse processo é a radiação solar, para Tucci e Beltrame (2001) além da radiação solar, outros fatores meteorológicos que interferem na evaporação em superfícies livres de água, são a temperatura do ar, o vento e a pressão de vapor. Os autores discutem que este processo consome em média 585 $cal.g^{-1}$ a uma temperatura de 25˚ C e que a evaporação depende da energia disponível da radiação solar, portanto a evaporação está diretamente relacionada à temperatura do ar, quanto maior for esta

temperatura, mais intenso será o processo de evaporação da superfície, quanto menor for a temperatura do ar menos intenso será o processo, até o limite de saturação.

O fenômeno da evapotranspiração é mais complexo, pois se trata não apenas da passagem de estado físico da água, consideram-se outras variáveis importantes no entendimento do ciclo hidrológico.

> É o processo simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e por transpiração das plantas. Dependendo das condições da vegetação, do tamanho da área vegetada, e do suprimento de água pelo solo, defini-se situações bem características, tais como, *potencial*, *real*, *de oásis*, e de *cultura*. Pereira et al. (2002, p. 215)

No caso dos estudos aqui propostos, a evapotranspiração real e a potencial serão abordadas com mais afinco, pois estão diretamente relacionadas ao BHC (Balanço Hídrico Climatológico) utilizado nesta pesquisa.

A evapotranspiração potencial (ETP) é uma estimativa realizada em condições ideais de ambiente (sem restrição hídrica) e serve como referência para saber-se a evapotranspiração real, é considerado o tipo de cobertura vegetal, a área foliar da cultura e o tamanho da vegetação, geralmente terrenos gramados são os mais utilizados como base de comparação ideal para a ETP.

Pereira et al. (2002) define a evapotranspiração real (ETR) como sendo a quantidade de água realmente utilizada por uma determinada superfície vegetada com grama e que pode ou não sofrer restrição hídrica, ou seja, a ETR indica efetivamente as condições de ambiente, portanto em caso de escassez de água a ETR será menor que a ETP.

A evapotranspiração pode ser medida, calculada e estimada, dependendo os objetivos com que se quer empregá-la, o método adequado deve ser ajustado considerando-se as condicionantes de ambiente.

3 MÉTODO DE PESQUISA

A compreensão do funcionamento e distribuição da precipitação pluviométrica na bacia hidrográfica exige a utilização de um método analítico que proporcione a decomposição de um todo em partes. Para isso, faz-se necessário compreender os mecanismos atmosféricos que influenciam o clima regional, evidenciando sua participação no regime pluviométrico e na sua variabilidade, trata-se de uma pesquisa descritiva/experimental onde procura-se a relação entre os fenômenos, conexão com outros fenômenos além da sua natureza e características.

Os procedimentos técnicos devem vir corroborar para a análise e descrição do fenômeno, porém segundo Rampazzo (2002) um objeto não se esgota apenas no conhecimento minucioso de suas partes, pressupondo uma síntese. A escolha das técnicas de pesquisa corroboram para uma análise descritiva e permite uma visão sintética da espacialização e variabilidade da precipitação sobre a bacia do rio Piquiri-PR.

3.1 Procedimentos metodológicos

3.1.1 A escolha e organização dos postos pluviométricos

O levantamento dos dados de precipitação pluviométrica realizou-se junto ao Instituto das Águas do Paraná, ao qual foram escolhidos 41 postos intra-bacia e 32 postos extra-bacia, totalizando 73 postos pluviométricos e uma série histórica de coleta de dados de 35 anos

compreendida entre 1976-2010. A Tabela 1 mostra os postos utilizados na pesquisa, suas altitudes e respectivas bacias hidrográficas. Para a escolha dos 73 postos levou-se em consideração a consistência da coleta para os postos escolhidos, pois deveriam ter a série de 1976 à 2010, e os postos deveriam apresentar heterogeneidade de altitude. A escolha de postos no entorno da bacia do Rio Piquiri fez-se necessário devido o método utilizado para a geração dos mapas de isoietas, que será especificado posteriormente.

Tabela 1: Postos pluviométricos do Instituto das Águas do Paraná utilizados na pesquisa.

Posto	*Código ANEEL*	*Município*	*Bacia hidrográfica*	*Altitude (m)*
1	2352026	Tuneiras do Oeste	Rio Piquiri	459
2	2353002	Mariluz	Rio Piquiri	320
3	2353005	Xambrê	Rio Piquiri	412
4	2353006	Mariluz	Rio Piquiri	345
5	2353016	Pérola	Rio Piquiri	438
6	02353047	Cafezal do Sul	Rio Piquiri	384
7	2451010	Santa Maria do Oeste	Rio Piquiri	900
8	02451021	Santa Maria do Oeste	Rio Piquiri	929
9	2452000	Altamira do Paraná	Rio Piquiri	360
10	2452001	Ubiratã	Rio Piquiri	320
11	2452009	Ubiratã	Rio Piquiri	509
12	2452010	Janiópolis	Rio Piquiri	350
13	2452011	Campina da Lagoa	Rio Piquiri	618
14	2452012	Altamira do Paraná	Rio Piquiri	650
15	2452015	Roncador	Rio Piquiri	723
16	02452016	Palmital	Rio Piquiri	890
17	2452019	Laranjal	Rio Piquiri	741
18	02452029	Farol	Rio Piquiri	582
19	02452033	Juranda	Rio Piquiri	513
20	2452035	Mamborê	Rio Piquiri	650
21	2452040	Mamborê	Rio Piquiri	638
22	02453000	Iporã	Rio Piquiri	270
23	2453001	Ubiratã	Rio Piquiri	310
24	2453008	Alto Piquiri	Rio Piquiri	427
25	2453009	Alto Piquiri	Rio Piquiri	430
26	2453010	Formosa do Oeste	Rio Piquiri	370
27	2453012	Corbélia	Rio Piquiri	696
28	02453013	Iguatu	Rio Piquiri	730
29	2453014	Campo Bonito	Rio Piquiri	700
30	2453016	Goioerê	Rio Piquiri	497
31	2453030	Assis Chateaubriand	Rio Piquiri	501
32	2453037	Nova Aurora	Rio Piquiri	544
33	2453047	Maripá	Rio Piquiri	394
34	2453048	Nova Santa Rosa	Rio Piquiri	341
35	2453050	Brasilândia do Sul	Rio Piquiri	396
36	2453052	Francisco Alves	Rio Piquiri	302

37	2453056	Cascavel	Rio Piquiri	602
38	2551009	Campina do Simão	Rio Piquiri	1056
39	2552006	Guaraniaçu	Rio Piquiri	920
40	2552008	Marquinho	Rio Piquiri	872
41	02552019	Laranjeiras do Sul	Rio Piquiri	785
42	2352032	Araruna	Rio Ivaí	600
43	02352042	Tapejara	Rio Ivaí	447
44	2353004	Cruzeiro do Oeste	Rio Ivaí	480
45	2353028	Maria Helena	Rio Ivaí	455
46	2451003	Cândido de Abreu	Rio Ivaí	550
47	2451013	Pitanga	Rio Ivaí	892
48	02451044	Nova Tebas	Rio Ivaí	700
49	2452007	Campo Mourão	Rio Ivaí	591
50	02452041	Roncador	Rio Ivaí	819
51	2452046	Luiziana	Rio Ivaí	800
52	2551038	Prudentópolis	Rio Ivaí	792
53	2551040	Turvo	Rio Ivaí	1146
54	2353003	Altônia	Rio Paraná 2	376
55	2353019	São Jorge do Patrocínio	Rio Paraná 2	351
56	2353020	Xambrê	Rio Paraná 2	405
57	2353025	Alto Paraíso	Rio Paraná 2	365
58	2453017	Toledo	Rio Paraná 3	513
59	2454006	Terra Roxa	Rio Paraná 3	378
60	2454012	Santa Helena	Rio Paraná 3	261
61	2454015	Mercedes	Rio Paraná 3	407
62	2454016	Guaíra	Rio Paraná 3	340
63	2553009	Céu Azul	Rio Paraná 3	650
64	2551008	Guarapuava	Rio Iguaçu	1000
65	2551033	Guarapuava	Rio Iguaçu	1050
66	2551035	Guarapuava	Rio Iguaçu	1202
67	2552005	Virmond	Rio Iguaçu	850
68	2552007	Laranjeiras do Sul	Rio Iguaçu	850
69	02552010	Nova Laranjeiras	Rio Iguaçu	730
70	2552025	Candói	Rio Iguaçu	782
71	2553035	Cascavel	Rio Iguaçu	633
72	2553041	Catanduvas	Rio Iguaçu	600
73	02553041	Três Barras do Paraná	Rio Iguaçu	534

Org. Correa, 2013.

A distribuição espacial dos 73 postos pluviométricos do Instituto das Águas do Paraná pode ser observada na Figura 16. A densidade da rede de postos de coleta é importante para o desenvolvimento da pesquisa, uma vez que apresenta seguridade para a compreensão do fenômeno, no Brasil não é comum termos disponibilidade abundante de dados meteorológicos, é importante que os órgãos responsáveis continuem a desenvolver e a incentivar pesquisas e coleta de dados meteorológicos em todo o território nacional.

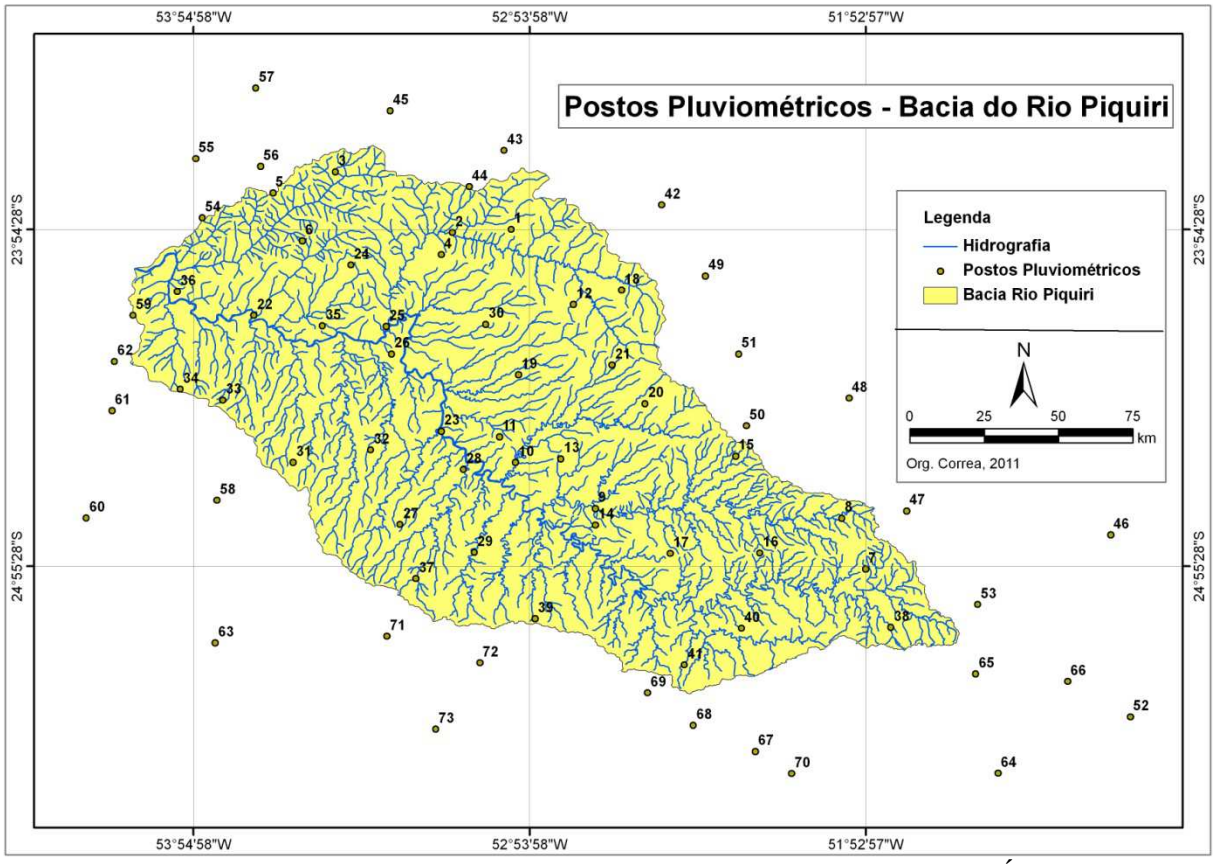

Figura 16: Distribuição espacial dos 73 postos pluviométricos do Instituto das Águas do Paraná utilizados na pesquisa.

A coleta na rede de pluviômetros do Instituto das Águas do Paraná é realizada através do pluviômetro ordinário Ville de Paris. Este tipo de pluviômetro segundo Varejão-Silva (2006) possui um reservatório para a água da chuva, sendo que na parte inferior existe uma torneira de drenagem que permite ao observador fazer a leitura através de um copo graduado, a Figura 17 mostra o esquema de funcionamento de um pluviômetro Ville de Paris e a foto indica um dos pluviômetros utilizados para a coleta de água, no caso trata-se do pluviômetro do posto 31 localizado no município de Assis Chateaubriand.

Em trabalho de campo observou-se que o pluviômetro está instalado muito próximo ao muro e ao lado encontra-se uma roseira, fato que pode vir a prejudicar a eficiência da coleta da precipitação pluviométrica, Figura 17.

Figura 17: Pluviômetro Ville de Paris utilizado na coleta da precipitação na rede de postos do Instituto das Águas do Paraná
Foto: Trabalho de campo realizado em jan/ 2012 pelo autor.

3.1.2 A consistência do banco de dados

A consistência dos dados é importante no desenvolvimento da pesquisa uma vez que estes representam quantitativamente o fenômeno da precipitação pluviométrica na bacia do rio Piquiri. De todos os 73 postos pluviométricos numa série histórica de 35 anos a inconsistência nos dados (falhas) representa 0,11 % do total da amostra.

Existem diversos métodos de preenchimento de falhas em bando de dados pluviométricos, Bertoni e Tucci (2001) apresentam três métodos a ser conhecidos, método da média aritmética, método de Thiessen e método das isoietas. Para o preenchimento das falhas do banco de dados utilizou-se do método da média aritmética, onde segundo os autores, por este método admite-se que todos os pluviômetros tem o mesmo peso, e o cálculo é feito com base nos valores medidos.

$$Pm = 1/n \, . \sum Pi$$

P*m* = precipitação média na área em mm;

P*i* = precipitação média do enésimo pluviômetro;

n = número total de pluviômetros.

O método da dupla massa segundo Bertoni e Tucci (2001) indica a consistência de um banco de dados a partir da análise de uma base de comparação. A seguir tem-se um exemplo da dupla massa para os postos 35 e 14, tendo como referência a média pluviométrica histórica mensal. A Figura 18 mostra os dados acumulados dos respectivos postos e conclui-se que os postos 35 e 14 apresentam boa correlação com os valores médios dos 73 postos pluviométricos intra e extra bacia de drenagem. Esse procedimento foi realizado para todos os demais postos e apresentaram elevada correlação, com R^2 variando entre 0,8 e 0,9.

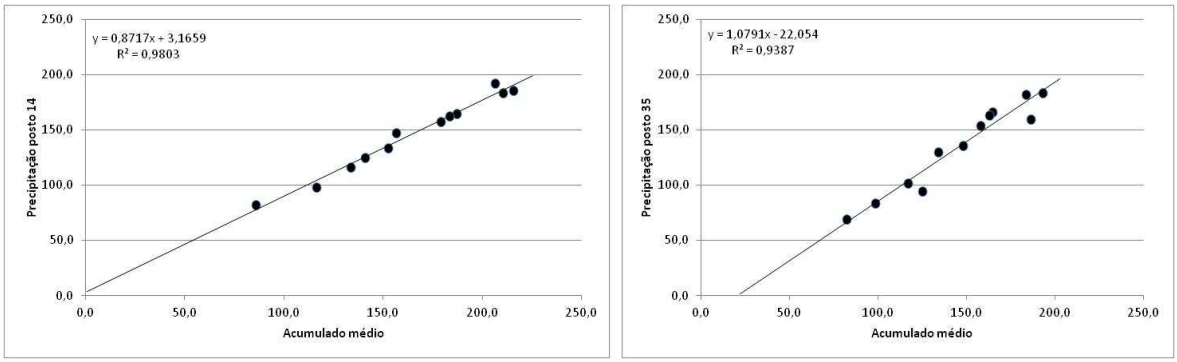

Figura 18: Curva de dupla massa para verificação da consistência da série histórica mensal para o posto 14 e 35**. Org.** Correa, 2013.

3.1.3 Espacialização da precipitação através da interpolação

Segundo Câmara et al. (2004) a análise espacial tem como ênfase a mensuração das propriedades e os relacionamentos dispostos no espaço levando em conta sua localização.

Trata-se em outras palavras, da espacialização dos fenômenos, no caso desta pesquisa, a análise espacial auxilia na visualização da distribuição espacial da precipitação pluviométrica.

Tratar de um fenômeno natural como um dado espacial, no caso a chuva, é o mesmo que analisar um dado que se distribui em uma superfície contínua, que segundo Câmara et al. (2004) pode ser estimado "a partir de um conjunto de amostras de campo, que podem estar regularmente, ou irregularmente distribuídas." A coleta da chuva é feita em pontos da superfície, portanto, um fenômeno contínuo que está disposto em pontos da superfície deve ser reconhecido como um dado pontual. A distribuição dos postos pluviométricos, como indicado na Figura 16, estão irregularmente localizados na bacia hidrográfica, para isso é necessário técnicas e cálculos estatísticos para a aproximação e aferição de valores, um modelo inferencial.

A análise da distribuição da precipitação requer a coleta de dados de amostra, que consistem em pares ordenados de coordenadas geográficas (x, y) e a precipitação registrada no pluviômetro (z). A análise espacial deste tipo de fenômeno (natural) está sujeita à correlação espacial, ou seja, é uma forma estatística de mensurar a correlação entre dados distintos. A autocorrelação espacial preconiza que os fenômenos mais próximos entre si tem maior correlação que os fenômenos mais distantes.

Através da variação contínua é possível inferir uma superfície contínua dos valores de precipitação pluviométrica até então dispostos pontualmente, para isso é necessário utilizar-se de métodos de interpolação. Assad (2001) ao estudar a distribuição das chuvas no Cerrado brasileiro também determinou a análise de dados contínuos por meio de um interpolador linear. Com relação ao método geoestatístico da interpolação, Camargo et al. (2004, p. s/n.) aponta que:

> O procedimento de interpolação é chamado de *krigagem* em honra a Daniel Krige, o pioneiro em introduzir o uso de médias móveis para evitar a superestimação sistemática de reservas em mineração. O que diferencia a

> krigagem de outros métodos de interpolação é a estimação de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado. Além disso, a krigagem também fornece estimadores com propriedades de não tendenciosidade e eficiência.

A escolha dos 73 postos pluviométricos para a análise espacial da precipitação pluviométrica se fez com o intuito de buscar a máxima representatividade da realidade do fenômeno. Por isso a necessidade de escolher postos extra-bacia, para que o procedimento da interpolação buscasse o menor erro de estimativa de vizinhança a ser considerada entre os postos. Por se tratar de dados secundários, ou seja, disponibilizados pelo Instituto das Águas do Paraná, não se tem controle da distribuição geográfica dos mesmos a Organização Meteorológica Mundial (WMO,1984), estimou a densidade mínima de postos pluviométricos para a análise climatológica, para isso levou-se em consideração as características fisiográficas das diferentes paisagens terrestres (relevo, tipo de clima, geologia e sistemas atmosféricos predominantes). Para regiões planas de zonas temperadas, mediterrâneas e tropicais a área de abrangência de um posto pluviométrico varia entre 600-900 km^2, numa versão revisada, (WMO,1994) determinou que a densidade mínima de postos pluviométricos para áreas planas no interior do continente é de 575 km^2.

Aplicando a metodologia proposta pela Organização Meteorológica Mundial pode-se observar na Figura 19 que praticamente toda a área da bacia está coberta pelos postos pluviométricos segundo parâmetros de abrangência. Para a determinação do raio de abrangência dos postos pluviométricos calculou-se baseado na fórmula da área do círculo.

$$A = \pi r^2$$
$$575 = 3{,}1415.r^2$$
$$\sqrt{575/3{,}1415} = r$$
$$r = 13{,}5\ km$$

A = área da circunferência;

π = valor aproximado 3,1415

r^2 = quadrado do raio da circunferência

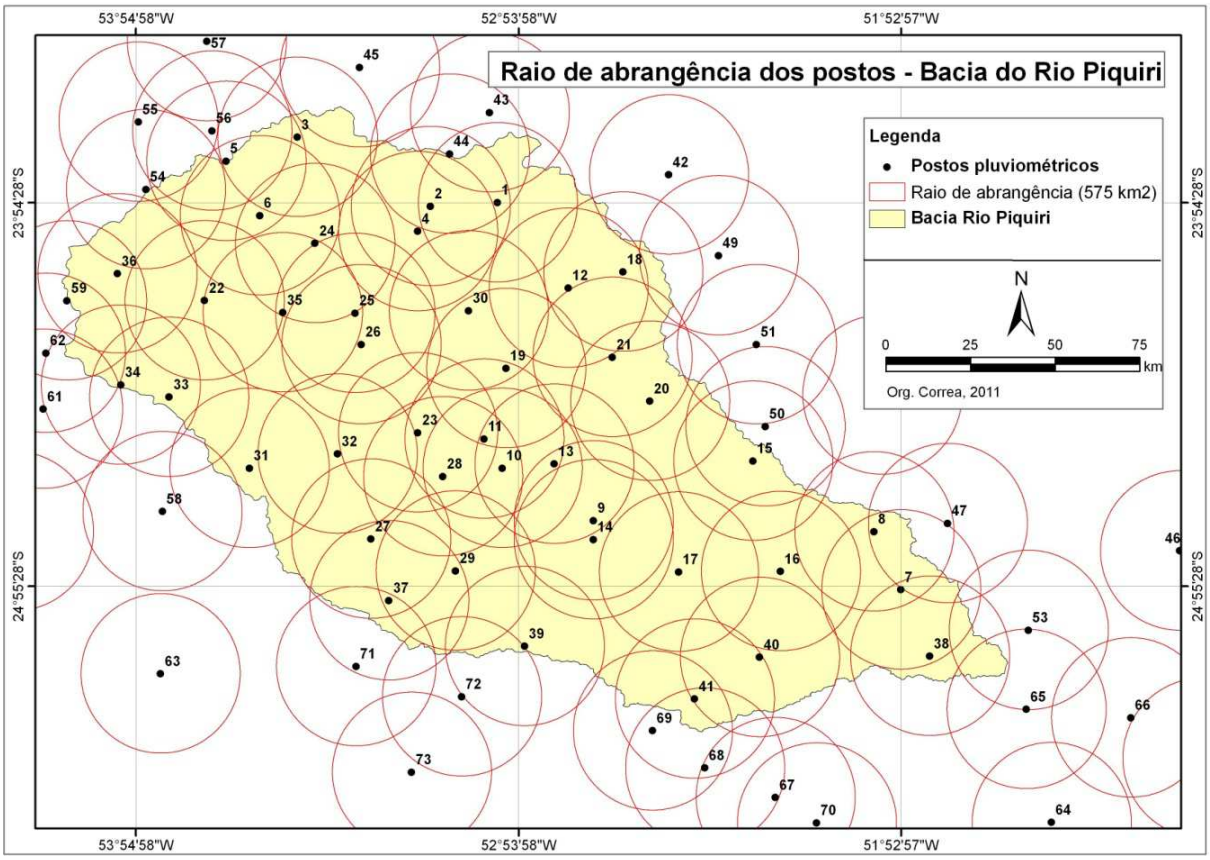

Figura 19: Raio de abrangência dos postos pluviométricos segundo parâmetros de densidade de postos da WMO (1994).

A interpolação foi realizada por meio do ArcGis 9.3[4] e para a representação cartográfica do fenômeno da precipitação pluviométrica optou-se por dividir a escala de cores em tons de azul, baseando-se nos valores anuais com intervalos de 100 mm para cada classe de cor, nos valores sazonais o intervalo adotado foi de 50 mm e para os valores mensais

[4] ArcGis 9.3 é marca registrada da Esri.

intervalos de 25 mm. Estes intervalos foram escolhidos de maneira que pudessem representar de forma objetiva a variabilidade espacial do fenômeno ao mesmo tempo em que as possibilidades de cores disponíveis no *software* fossem compatíveis com a amplitude dos valores a serem representados.

3.1.4 Determinação dos anos excepcionais (Ano- padrão)

Para a determinação dos anos excepcionais optou-se por utilizar a metodologia proposta por Santa'Anna Neto (1995) na escolha do "ano padrão". Foi calculado o desvio padrão da precipitação anual de todos os 73 postos pluviométricos obtendo os anos habituais, tendente a chuvosos, chuvosos, tendente a secos e secos, para isso tem-se:

Ano chuvoso	$P > Pm+\sigma$	
Ano tendente a chuvoso	$Pm+\sigma/2$	
Ano habitual	$Pm-\sigma/2<P<Pm+\sigma/2$	
Ano tendente a seco	$Pm-\sigma/2$	
Ano seco	$P < Pm-\sigma$	

Pm - precipitação média
σ - desvio padrão
P - precipitação

Para a determinação do ano padrão é necessário que se compreenda que o cálculo do desvio-padrão (D.P.) é importante segundo Galvani (2011) para ter-se a noção do "grau de dispersão dos valores em relação ao valor médio", sendo este determinado pela raiz quadrada da variância da precipitação pluviométrica.

Observando a Tabela 2 com a determinação do ano padrão tem-se os anos chuvosos como sendo 1983, 1997 e 1998 (8,6%), foram categorizados ainda como tendente a chuvoso os anos 1982 , 1990 e 2009 (8,6%), como tendente a seco os anos de 1977, 1991, 2006, 2007 e 2008 (14,3%) e como seco os anos de 1978, 1985, 1988 e 1999 (11,4%). Foram

categorizados os anos de 1976, 1979, 1980, 1981, 1984, 1986, 1987, 1989, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 e 2010 como habituais (57,1%).

Tabela 2: Determinação dos anos-padrão

Ano	Média	Ano	Média
1976	1712,2	1995	1708,5
1977	1480,3	1996	1835
1978	1227	1997	2115,4
1979	1845,7	1998	2275
1980	1715,9	1999	1430,6
1981	1705	2000	1917,3
1982	1972,7	2001	1759,6
1983	2540,1	2002	1809,7
1984	1621,6	2003	1728,9
1985	1252,9	2004	1755,1
1986	1785,3	2005	1702,9
1987	1813,5	2006	1522,9
1988	1260,2	2007	1540,5
1989	1873,5	2008	1572,3
1990	2021,1	2009	1981,3
1991	1500,5	2010	1674,8
1992	2071,8	*Média*	*1749,7*
1993	1781,8	*D.P.*	*273,3*
1994	1728,6		

Ano chuvoso	< 2022,0
Ano tendente a chuvoso	1886,3-2021,9
Ano habitual	1613,1-1886,2
Ano tendente a seco	1476,3-1613,0
Ano seco	> 1476,4

Org. Correa, 2013

O ano chuvoso a precipitação de todos os meses, ou a maioria dos meses, deve ultrapassar a média histórica, o ano selecionado nesse caso foi 1983 (2540,1 mm), assim como no ano seco a precipitação de todos os meses, ou a maioria destes, deve ficar abaixo da média histórica como o caso do ano de 1978 (1227,0 mm) e no ano habitual os valores mensais e a média devem ficar o mais próximos possível, no caso o ano habitual selecionado

foi 2001 (1759,6 mm). A Figura 20 mostra os três anos selecionados para o estudo de caso de excepcionalidade.

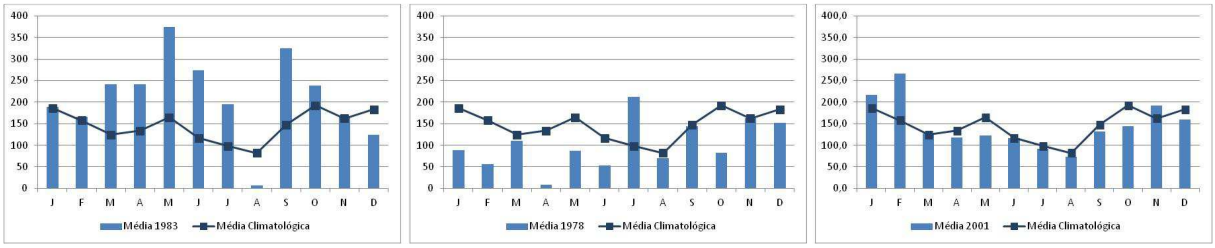

Figura 20: Pluviometria média mensal para a bacia do rio Piquiri-PR em 1983, 1978 e 2001.
Org. Correa, 2012.

A escolha de um ano chuvoso, um ano seco e um ano padrão habitual foi baseada na distribuição da precipitação ao longo dos 12 meses, que deve apresentar características especificas a cada ano selecionado em relação a média climatológica como proposto por Wolmann (2011).

Para o agrupamento das estações optou-se por escolher para o verão (janeiro, fevereiro e março), para o outono (abril, maio e junho) para o inverno (julho, agosto, setembro) e para a primavera (outubro, novembro e dezembro), pois assim facilita a análise dos dados, sem necessidade de divisão entre os anos na passagem de dezembro para janeiro, caso fosse considerado para o verão os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, por exemplo.

3.1.5 O balanço hídrico climatológico (BHC)

O balanço hídrico segundo Ometto (1981, p.374) trata “da contabilidade de entrada e saída de água no solo”, de forma mais abrangente Pereira et al. (2002) explica que o balanço hídrico é resultante da aplicação do princípio de conservação de massa em determinado volume de solo vegetado, ou seja, a quantidade de água armazenada em determinada área por

um determinado tempo representa o volume e entrada e saída de água no volume de controle. Optou-se por utilizar a metodologia do Balanço Hídrico Climatológico por facilitar a análise de como se sucede as trocas materiais e energéticas da água na bacia do rio Piquiri, uma vez que o excedente e a deficiência hídrica funcionam como um indicador importante da participação da precipitação pluviométrica na dinâmica hídrica e climatológica da área de estudo.

Para o desenvolvimento desta pesquisa optou-se por realizar o Balanço Hidrico Climatológico (BHC) de Thornthwaite e Mather (1955), que consiste em mensurar os excedentes e as deficiências hídricas anual para a média histórica analisada. Esta metodologia pressupõe a participação efetiva da temperatura média do ar como uma das variáveis necessárias para a obtenção do BHC. A área não dispõe de uma rede de coleta de dados de temperatura do ar tão consistente como a rede de coleta de precipitação pluviométrica, para isso fez-se necessário utilizar-se da estimativa da temperatura média do ar proposta por Pinto e Alfonsi (1974) que através do emprego de uma regressão linear múltipla possibilita a estimativa média mensal da temperatura do ar.

$$Tmed = a + b(altitude) + c(latitude) + d(longitude)$$

Os coeficientes *a, b, c e d* já são pré-determinados por Pinto e Alfonsi (1974) para o estado do Paraná e podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores dos coeficientes *a, b, c* e *d* da equação da estimativa da temperatura média mensal para o estado do Paraná.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
a	37,00	38,70	40,50	47,20	46,60	46,50	49,50	54,00	54,30	48,30	46,40	37,80
b	-0,0056	-0,0055	-0,0053	-0,0046	-0,0038	-0,0036	-0,0034	-0,0037	-0,0038	-0,0052	-0,0055	-0,0060
c	-0,0072	-0,0084	-0,0105	-0,0170	-0,0190	-0,0199	-0,0220	-0,0238	-0,0229	-0,0172	-0,0148	-0,0081
d	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: Pinto e Alfonsi (1974)

Segundo Pereira et al. (2002) este procedimento de estimativa da temperatura média do ar é baseada na latitude do local devido a sua relação com a irradiância global, na altitude devido o efeito da variação da pressão, e em regiões litorâneas acrescenta-se o coeficiente *d* (longitude). No caso do estado do Paraná o último coeficiente é descartado devido a sua pequena variação nos limites geográficos do estado. A Tabela 4 mostra os valores estimados de temperatura média do ar para os 73 postos na bacia do rio Piquiri.

Tabela 4: Valores médios estimados de temperatura do ar através da regressão linear múltipla para os 73 postos da bacia do rio Piquiri.

Posto	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1	24,1	24,1	23,0	20,7	17,6	16,3	16,4	18,2	19,7	21,2	22,6	23,4
2	24,9	24,9	23,7	21,3	18,1	16,8	16,8	18,7	20,2	22,0	23,4	24,3
3	24,4	24,5	23,4	21,1	18,0	16,7	16,8	18,6	20,1	21,7	23,1	23,8
4	24,7	24,7	23,6	21,2	17,9	16,6	16,7	18,5	20,0	21,8	23,2	24,1
5	24,3	24,3	23,2	20,9	17,8	16,5	16,6	18,4	19,9	21,5	22,9	23,6
6	24,5	24,5	23,4	21,0	17,8	16,5	16,6	18,4	19,9	21,6	23,0	23,9
7	21,2	21,2	20,0	17,6	14,8	13,5	13,5	15,1	16,6	17,9	19,3	20,3
8	21,1	21,1	20,0	17,7	14,8	13,6	13,6	15,2	16,7	17,9	19,3	20,2
9	24,3	24,2	23,0	20,3	17,0	15,7	15,6	17,3	18,9	20,9	22,4	23,6
10	24,6	24,5	23,3	20,6	17,3	16,0	15,9	17,7	19,3	21,2	22,8	23,9
11	23,6	23,5	22,3	19,8	16,7	15,4	15,4	17,1	18,7	20,3	21,8	22,8
12	24,6	24,6	23,4	21,0	17,8	16,4	16,5	18,2	19,8	21,6	23,0	24,0
13	22,9	22,9	21,7	19,3	16,2	14,9	14,9	16,6	18,2	19,7	21,2	22,1
14	22,6	22,6	21,4	18,9	15,9	14,5	14,6	16,2	17,8	19,3	20,8	21,8
15	22,3	22,3	21,2	18,8	15,8	14,5	14,6	16,2	17,8	19,2	20,6	21,5
16	21,3	21,3	20,1	17,7	14,8	13,6	13,6	15,2	16,7	18,0	19,4	20,4
17	22,1	22,1	20,9	18,4	15,4	14,1	14,1	15,7	17,3	18,8	20,2	21,3
18	23,3	23,4	22,2	20,0	16,9	15,6	15,7	17,4	19,0	20,4	21,8	22,6
19	23,6	23,6	22,4	20,0	16,9	15,6	15,6	17,3	18,9	20,5	22,0	22,9
20	22,8	22,8	21,7	19,3	16,3	15,0	15,0	16,7	18,3	19,7	21,1	22,0
21	22,9	22,9	21,8	19,5	16,5	15,2	15,2	16,9	18,5	19,9	21,3	22,2
22	25,0	25,0	23,8	21,3	18,0	16,7	16,7	18,5	20,1	22,0	23,5	24,4
23	24,7	24,6	23,4	20,8	17,5	16,1	16,1	17,8	19,4	21,4	22,9	24,0
24	24,2	24,2	23,1	20,7	17,6	16,3	16,3	18,1	19,7	21,3	22,7	23,6
25	24,1	24,1	23,0	20,5	17,4	16,1	16,1	17,9	19,4	21,1	22,5	23,5
26	24,4	24,4	23,2	20,7	17,5	16,2	16,2	18,0	19,5	21,3	22,8	23,8
27	22,4	22,4	21,2	18,7	15,7	14,4	14,4	16,0	17,6	19,1	20,6	21,6
28	22,3	22,3	21,1	18,7	15,7	14,5	14,5	16,1	17,7	19,1	20,5	21,4
29	22,3	22,3	21,1	18,6	15,6	14,3	14,3	15,9	17,5	19,0	20,5	21,5
30	23,8	23,8	22,6	20,2	17,1	15,8	15,9	17,6	19,2	20,7	22,2	23,1

31	23,6	23,5	22,3	19,8	16,6	15,3	15,3	17,0	18,6	20,3	21,8	22,8
32	23,3	23,3	22,1	19,6	16,5	15,2	15,2	16,9	18,5	20,1	21,6	22,6
33	24,2	24,2	23,0	20,5	17,3	15,9	15,9	17,7	19,2	21,0	22,5	23,6
34	24,6	24,5	23,3	20,8	17,5	16,2	16,1	17,9	19,5	21,4	22,9	23,9
35	24,3	24,3	23,2	20,7	17,5	16,2	16,2	18,0	19,5	21,3	22,7	23,7
36	24,9	24,9	23,7	21,2	18,0	16,6	16,7	18,5	20,0	21,9	23,3	24,3
37	22,5	22,5	21,3	18,7	15,6	14,3	14,3	15,9	17,5	19,1	20,6	21,7
38	20,2	20,2	19,1	16,7	14,0	12,7	12,8	14,2	15,8	16,9	18,3	19,3
39	21,0	21,0	19,8	17,4	14,5	13,2	13,3	14,8	16,3	17,6	19,1	20,1
40	21,3	21,2	20,1	17,6	14,7	13,4	13,4	14,9	16,5	17,8	19,3	20,4
41	21,7	21,7	20,4	17,9	14,9	13,6	13,5	15,1	16,7	18,2	19,7	20,8
42	23,3	23,4	22,3	20,1	17,2	15,9	16,0	17,7	19,3	20,6	21,9	22,6
43	24,3	24,3	23,2	21,0	17,9	16,6	16,7	18,5	20,1	21,6	22,9	23,6
44	24,0	24,1	23,0	20,7	17,7	16,4	16,5	18,3	19,8	21,3	22,6	23,4
45	24,3	24,3	23,3	21,1	18,0	16,7	16,9	18,7	20,2	21,6	23,0	23,6
46	23,2	23,2	21,9	19,3	16,2	14,9	14,9	16,5	18,1	19,8	21,3	22,4
47	21,3	21,3	20,2	17,8	15,0	13,7	13,8	15,3	16,9	18,1	19,5	20,4
48	22,5	22,5	21,4	19,1	16,1	14,8	14,9	16,5	18,1	19,5	20,9	21,7
49	23,3	23,3	22,2	20,0	16,9	15,7	15,7	17,5	19,0	20,4	21,8	22,6
50	21,8	21,8	20,7	18,4	15,6	14,3	14,4	16,0	17,5	18,8	20,1	21,0
51	22,0	22,1	21,0	18,8	15,9	14,6	14,7	16,4	17,9	19,1	20,4	21,2
52	21,6	21,6	20,3	17,7	14,7	13,3	13,3	14,8	16,4	18,0	19,5	20,7
53	19,8	19,8	18,7	16,4	13,7	12,5	12,6	14,0	15,5	16,5	17,9	18,8
54	24,6	24,6	23,5	21,1	18,0	16,6	16,7	18,5	20,1	21,7	23,1	23,9
55	24,8	24,8	23,7	21,4	18,3	16,9	17,0	18,9	20,4	22,0	23,4	24,2
56	24,5	24,5	23,4	21,1	18,0	16,7	16,8	18,6	20,2	21,7	23,1	23,8
57	24,8	24,9	23,8	21,6	18,4	17,2	17,3	19,1	20,7	22,2	23,5	24,2
58	23,4	23,4	22,2	19,6	16,5	15,1	15,1	16,8	18,4	20,1	21,6	22,7
59	24,4	24,4	23,3	20,8	17,6	16,3	16,3	18,1	19,7	21,4	22,9	23,8
60	24,8	24,8	23,5	20,7	17,4	16,0	15,9	17,7	19,3	21,4	23,0	24,2
61	24,2	24,1	22,9	20,4	17,2	15,8	15,8	17,6	19,2	20,9	22,4	23,5
62	24,6	24,6	23,4	20,8	17,6	16,3	16,3	18,0	19,6	21,4	22,9	23,9
63	22,5	22,4	21,2	18,6	15,5	14,1	14,1	15,7	17,3	19,0	20,5	21,7
64	20,4	20,3	19,1	16,5	13,7	12,4	12,4	13,8	15,4	16,7	18,2	19,4
65	20,2	20,2	19,0	16,6	13,8	12,6	12,6	14,1	15,6	16,8	18,2	19,2
66	19,4	19,4	18,2	15,9	13,2	12,0	12,1	13,5	15,0	16,0	17,3	18,3
67	21,2	21,2	19,9	17,3	14,3	13,0	13,0	14,5	16,1	17,6	19,1	20,3
68	21,3	21,2	20,0	17,4	14,4	13,1	13,1	14,6	16,2	17,7	19,2	20,4
69	22,0	21,9	20,7	18,0	15,0	13,7	13,6	15,2	16,8	18,4	19,9	21,1
70	21,6	21,5	20,3	17,5	14,5	13,2	13,1	14,6	16,2	17,9	19,4	20,7
71	22,6	22,5	21,3	18,6	15,5	14,2	14,2	15,8	17,4	19,1	20,6	21,8
72	22,7	22,7	21,4	18,7	15,6	14,2	14,2	15,8	17,4	19,2	20,7	21,9
73	23,0	23,0	21,7	18,8	15,6	14,2	14,1	15,7	17,3	19,3	20,9	22,2

Org. Correa, 2013.

Para averiguar a seguridade estatística deste procedimento de estimativa da temperatura do ar, realizou-se um ensaio comparando a metodologia da regressão linear múltipla para quatro estações meteorológicas do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR) localizadas próximos a bacia do rio Piquiri, respectivamente nos municípios de Guarapuava, Nova Cantu, Umuarama e Palotina com a temperatura média medida pelo termômetro localizado na estação meteorológica. A Figura 21 mostra os gráficos de correlação entre o método de estimativa e a temperatura do ar observada nas estações para as médias mensais. Nas quatro estações utilizadas o R^2 ficou próximo de 1, variando entre 0,98 e 0,99 o que indica uma boa correlação, o que é favorável para a aplicação do método para toda a área da bacia do rio Piquiri e posterior obtenção do BHC.

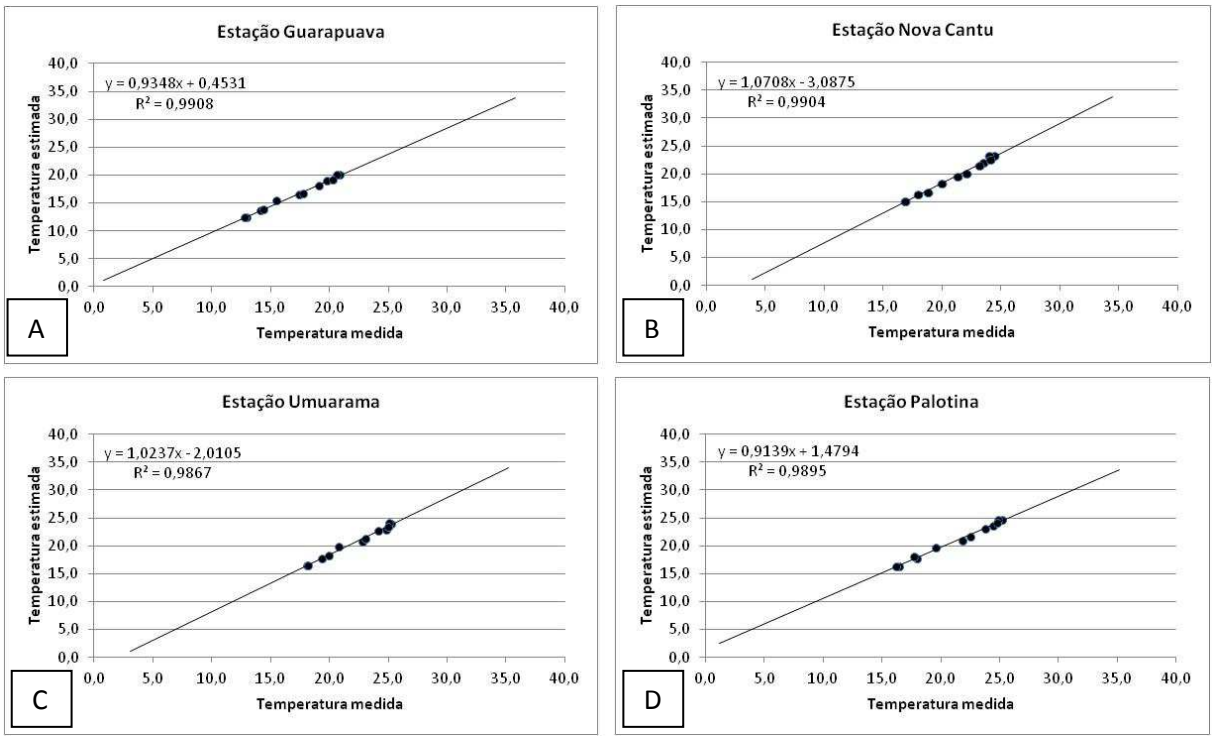

Figura 21: Correlação entre o método de estimativa e a temperatura observada nas quatro estações do IAPAR para as médias mensais, (A – Guarapuava, B – Nova Cantu, C – Umuarama e D – Palotina). **Org.** Correa, 2013.

Para a obtenção do BHC utilizou-se dos mesmo 73 postos pluviométricos adotados para a distribuição da precipitação, cada posto dotado das respectivas altitudes e latitudes

estimou-se a temperatura média do ar por meio da regressão linear múltipla e espacializou-se por meio da interpolação e o cálculo do BHC foi realizado através da planilha desenvolvida por Rolim et al. (1998) utilizando-se dos dados de precipitação pluviométrica média do Instituto das Águas do Paraná. Após a elaboração do BHC, foram selecionados os excedentes e as deficiências hídricas de cada posto e através da interpolação (krigagem) espacializou-se o fenômeno em escala média mensal e anual.

A escala de cores e os critérios adotados nos mapas de temperatura média do ar e nos mapas de excedente hídrico seguem o mesmo pressuposto nos mapas de precipitação pluviométrica. Nos mapas térmicos optou-se por dividir a escala de cores a cada 1˚C, com tons de cores variando do verde nas temperaturas menores para os tons de vermelho nas temperaturas mais elevadas e nos mapas de excedente hídrico optou-se por usar cores em tons de azul com intervalos de 10 mm.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1 Variabilidade da precipitação média para o período de 1976 a 2010

4.1.1 Análise da precipitação média anual

O clima da região sul do Brasil apresenta singularidades no que diz respeito às interações de fatores geográficos e elementos do clima, como a localização geográfica da região que encontra-se ao sul do Trópico de Capricórnio, com exceção do extremo norte do Paraná, e a influência do relevo na distribuição da temperatura e da precipitação.

Anualmente a precipitação pluviométrica sobre a bacia do rio Piquiri apresenta uma associação dos sistemas atmosféricos em conjunto com o relevo o que resulta em uma distribuição anual média da precipitação em toda a extensão da bacia variando entre 1400,0 a 2000,0 mm. Os valores mais reduzidos são observados no norte e oeste. Na região centro-sul estão os maiores valores médios de precipitação, chegando a mais de 2000,0 mm nos setores mais elevados onde as cotas altimétricas se aproximam de 1000 m, como mostra a Figura 22.

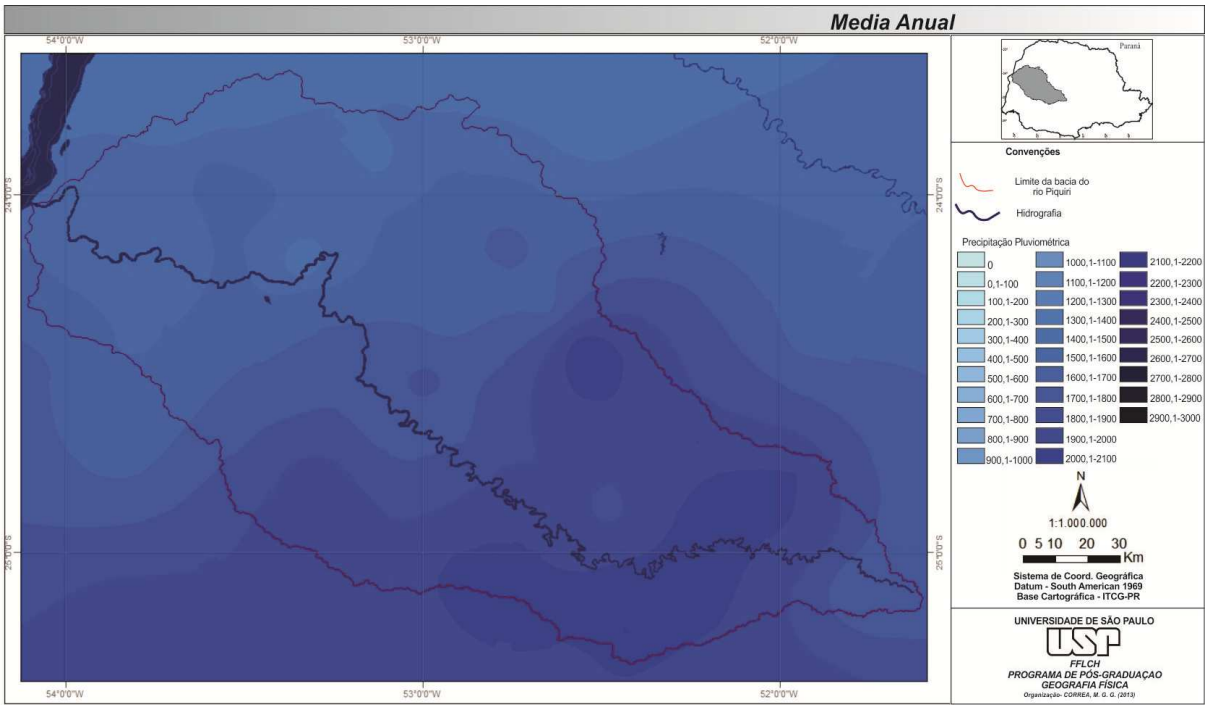

Figura 22: Precipitação média anual para a bacia do rio Piquiri-PR no período de 1976 a 2010.

Estudos realizados por Setzer (1946) sobre as condicionantes geográficas (relevo, solo e cobertura vegetal) na variabilidade pluvial no estado de São Paulo evidenciou que existe relação entre a hipsometria e o direcionamento das massas de ar na distribuição das chuvas. Para Pelegatti e Galvani (2010) a associação do tipo de sistema atmosférico e o posicionamento da vertente acentuam a orografia, no litoral paulista os eventos chuvosos de longa duração apresentam maior volume de precipitação quando voltados para o Atlântico, o contrário ocorre nos postos pluviométricos localizados na vertente direcionada para o continente, mostrando a existência de uma sombra de chuva. Para Candido e Nunes (2008) a irregularidade do relevo também influencia na distribuição espacial da precipitação pluviométrica, sendo que a distribuição é mais regular nas áreas menos elevadas e planas.

A relação da precipitaçãoo com o relevo pode ser observada detalhadamente na Figura 23, um transeto na direção NW-SE indica que a distribuição da precipitação pluviométrica média anual apresenta-se correlacionada com a elevação do relevo a partir dos 400 m até 900 m, quando começa a diminuir os valores médios de precipitação. Em cotas inferiores a 400 m e superiores a 900 m não existe correlação direta entre o relevo e a precipitação média anual.

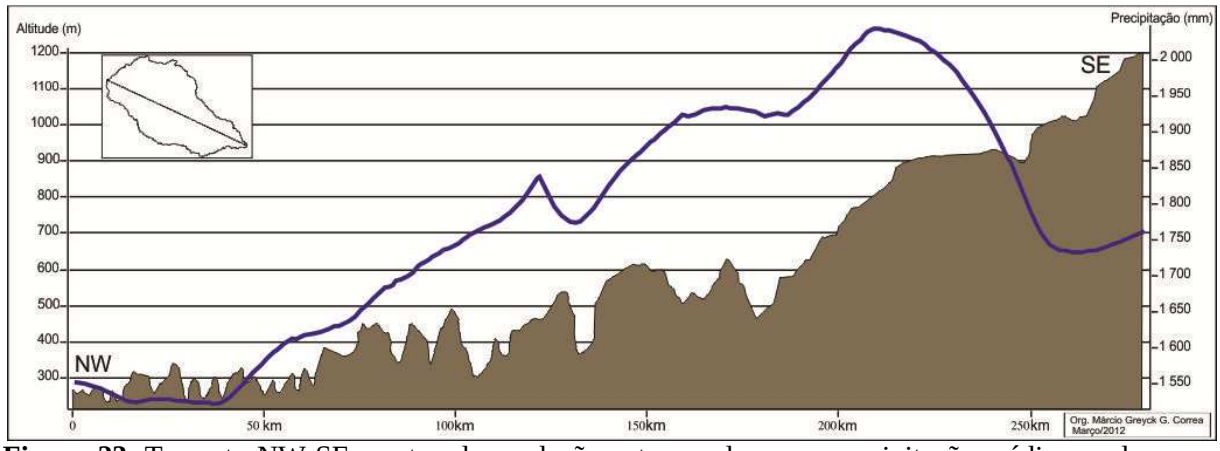

Figura 23: Transeto NW-SE mostrando a relação entre o relevo e a precipitação média anual para a bacia do rio Piquiri-PR.

4.1.2 Análise da precipitação média sazonal

Temporalmente a primavera apresenta-se como a estação mais chuvosa com 30,9% do volume total precipitado na média histórica, seguida do verão (26,7%), outono (23,7 %) e o inverno como a estação menos chuvosa (18,7%), como pode-se observar na Figura 24.

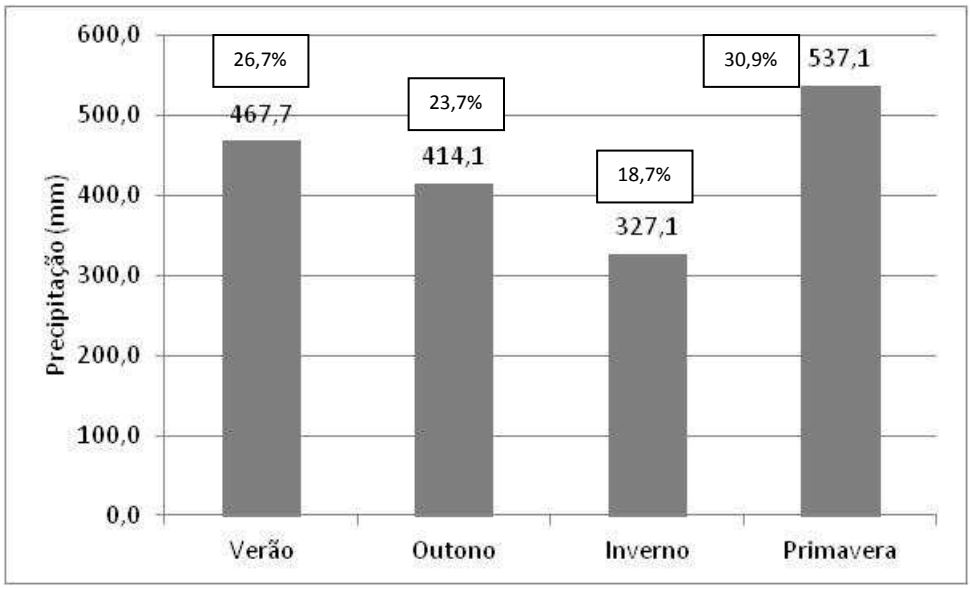

Figura 24: Distribuição sazonal da precipitação pluviométrica média na bacia do rio Piquiri-PR.
Org. Correa, 2012

Sazonalmente o verão, que se configura como a segunda estação mais chuvosa, o padrão de isoietas variam entre 370-520 mm, sendo o setor centro-norte da bacia a área com menor volume médio de chuva como indica a Figura 25. Nessa época do ano, os sistemas atmosféricos dominantes são os processos convectivos, além da presença da ZCAS que segundo Grimm (2009) pode estar direcionada dependendo de seu deslocamento latitudinal sobre o norte da região Sul, causando chuvas significativas. Segundo Carvalho e Jones (2009), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) caracteriza-se por ser uma banda de nebulosidade e chuvas que se orienta de noroeste-sudeste desde a Amazônia até o Atlântico subtropical e está associado ao escoamento convergente de umidade na baixa troposfera.

Ninomiya (1984) e Kodama (1992) realizaram estudos que diagnosticaram a presença de zonas de precipitação subtropicais quase estacionárias sobre três regiões do globo e apontaram suas diferenças em relação a até então conhecida zona de convergência intertropical. Os primeiros estudos realizados por Streten (1973) e Yasunari (1977) identificaram a presença dessa banda de nebulosidade sobre o continente sul americano, Barros et al. (2000) identificou a atuação da ZCAS sobre o sul do Brasil, nordeste da Argentina e Uruguai, e a intensificação ou diminuição das chuvas sobre a região, estão diretamente relacionadas ao posicionamento mais ao norte ou ao sul do sistema, principalmente durante o verão. Segundo Nimer (1979), durante o verão nos estado do Paraná e Santa Catarina, além da massa de ar polar Atlântica (mPa), também é comum o avanço de correntes perturbadas de oeste, o que provoca freqüentemente chuvas significativas.

As frentes frias atuam sobre o continente sul americano durante o ano todo, para Kousky e Cavalcanti (2009) os sistemas frontais podem causar intensas chuvas na medida em que vão se continentalizando, adquirindo umidade e calor, além de se associarem à Zona de Convergência do Atlântico Sul e provocarem intensas atividades convectivas.

O inverno e o outono são fortemente influenciados pelas correntes perturbadas de sul. Estudos feitos por Oliveira (1986) analisaram os sistemas frontais em 4 bandas latitudinais, concluindo que o máximo de penetrações de frentes no continente ocorre durante o mês de julho, sendo que nos meses de outubro e novembro ocorre a máxima interação destes sistemas frontais com a convecção tropical, principalmente nas bandas de 35°S-25°S e 25°S-20°S.

Analisando as isoietas do outono, Figura 25, o setor norte continua a ser o menos chuvoso, com valores médios entre 330-370 mm, o centro-sul é o mais chuvoso para o período, entre 450-490 mm. Observando as isoietas para o inverno nota-se uma diminuição considerável da precipitação pluviométrica, configurando a estação menos chuvosa, o setor norte as médias pluviométricas para o período é de 240 mm, e ao sul 390 mm. Para Grimm

(2009) as ondas baroclínicas de oeste que se intensificam no inverno, devido ao alto gradiente de temperatura, irão proporcionar a formação e a intensificação dos centros de baixa pressão e a penetração dos sistemas frontais e subsequentes massas de ar frio sobre o sul do Brasil para esse período do ano, condição sinótica esta que se estende para as estações transicionais, principalmente entre maio-setembro.

Para a primavera, que apresenta os maiores valores médios entre as quatro estações, o setor centro-norte continua a ser o menos chuvoso, variando entre 460-560 mm, em todo o centro-sul a precipitação varia entre 560-610 mm. Esse acréscimo significativo ocorre devido o aquecimento do ar, o que provoca maior concentração das chuvas na passagem das frentes e sua associação à ZCAS.

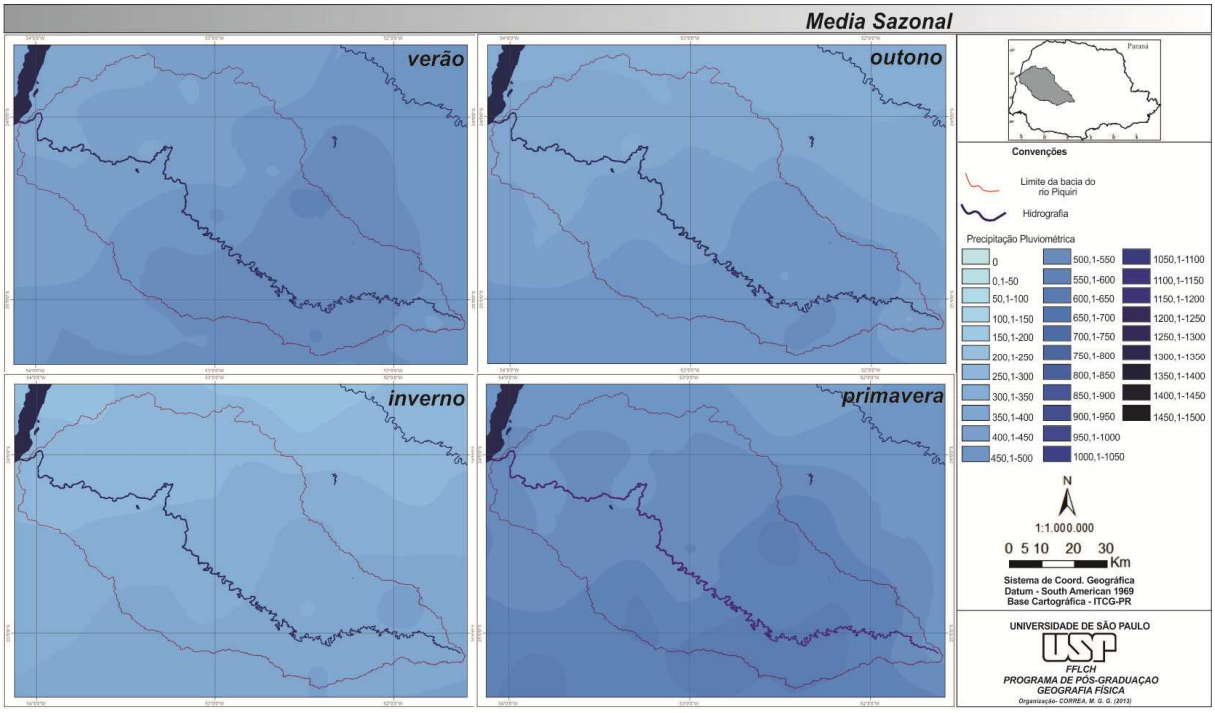

Figura 25: Precipitação média sazonal para a bacia do rio Piquiri-PR no período de 1976 a 2010.

4.1.3 Análise da precipitação média mensal

Mensalmente a precipitação se distribui de forma regular, sendo os meses de maior precipitação acumulada janeiro (186,0 mm), outubro (192,7 mm) e dezembro (183,4)

enquanto os meses de junho (116,6 mm), julho (98,3 mm) e agosto (82,0 mm) são os menos chuvosos como se pode observar na Figura 26. Essa distribuição “uniforme” da precipitação ao longo dos meses é característica de clima subtropical ou transicional (tropical-subtropical). Segundo Nogarolli (2007) as chuvas, são bem distribuídas durante o ano todo, com uma maior concentração nos meses estivais.

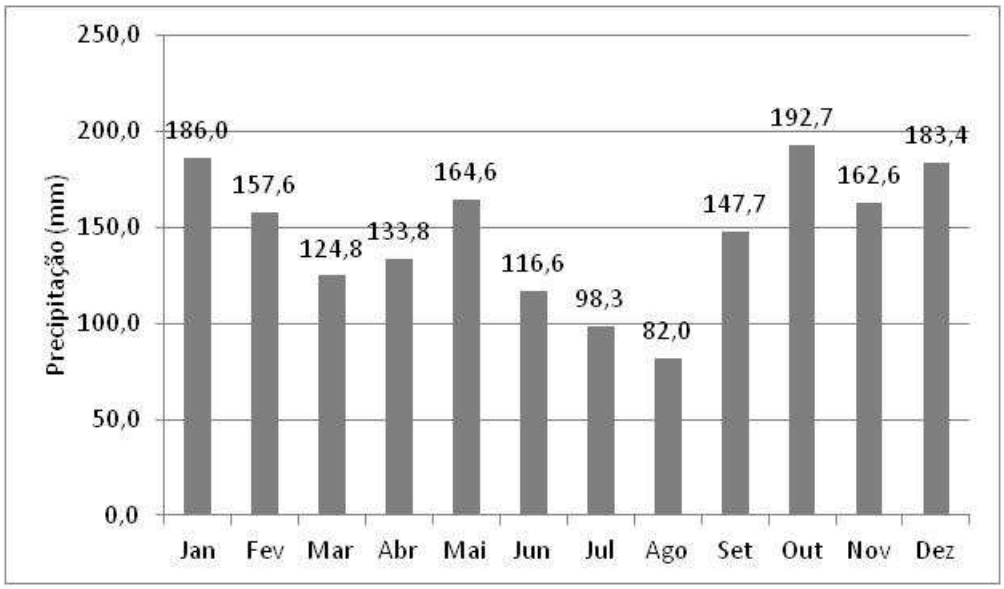

Figura 26: Distribuição mensal da pluviometria média na bacia do rio Piquiri-PR para os 73 postos pluviométricos.
Org. Correa, 2012.

Observando os mapas mensais na Figura 27 identifica-se o posicionamento da célula de maior concentração de precipitação mensal em tonalidade de azul escuro. Nos meses de novembro, dezembro e janeiro observam-se um padrão distinto de concentração da chuva, as isoietas dispostas concentricamente dispõem-se no mês de novembro na direção leste-nordeste, em dezembro a célula de maior concentração da precipitação encontra-se exatamente sobre o centro-sul/leste da bacia do Rio Piquiri, deslocando-se rapidamente para norte em janeiro. Nesse período os sistemas convectivos sobressaem-se aos sistemas frontais, organizando núcleos de precipitação devido ao intenso aquecimento do ar.

À medida que se observa as isoietas de fevereiro, evidencia-se o deslocamento do núcleo de maior precipitação para o extremo sul apresentando uma diminuição na média pluviométrica com relação à janeiro. A diminuição da precipitação média acumulada se intensifica em março, porém o padrão de orientação das isoietas se mantém (aumentando de noroeste para sudeste). A partir de abril o padrão das isoietas muda de direção, agora aumentando de norte para sul, os valores médios de precipitação voltam a elevar-se, com o núcleo de concentração da precipitação posicionado ao sul da bacia.

Nos meses transicionais, como abril e maio, o aumento da freqüência de passagem de sistemas frontais polares em associação com os sistemas convectivos que continuam ativos nessa época do ano, é o principal fator para a elevação das médias pluviométricas. A partir de junho a orientação das isoietas sofre uma pequena variação na direção noroeste-sudeste, o volume de chuva diminui e o núcleo de maior concentração de precipitação restringe-se no setor sudeste. Em julho e agosto ocorre uma expansão das isoietas de baixa pluviosidade na direção norte-sul (azul mais claro), a intensificação dos sistemas frontais e a diminuição dos sistemas convectivos confere a esses meses uma tendência geral de diminuição de temperatura e umidade do ar acarretando em uma diminuição da precipitação pluviométrica e caracterizando o mês de agosto como o menos chuvoso para a série histórica analisada.

Em setembro e outubro os valores médios de precipitação voltam a elevar-se, caracteristicamente como um período transicional entre o inverno e o verão, nesses meses a orientação das isoietas seguem o padrão observado nos meses anteriores, destacando-se que outubro é o mês que mais chove na bacia do rio Piquiri.

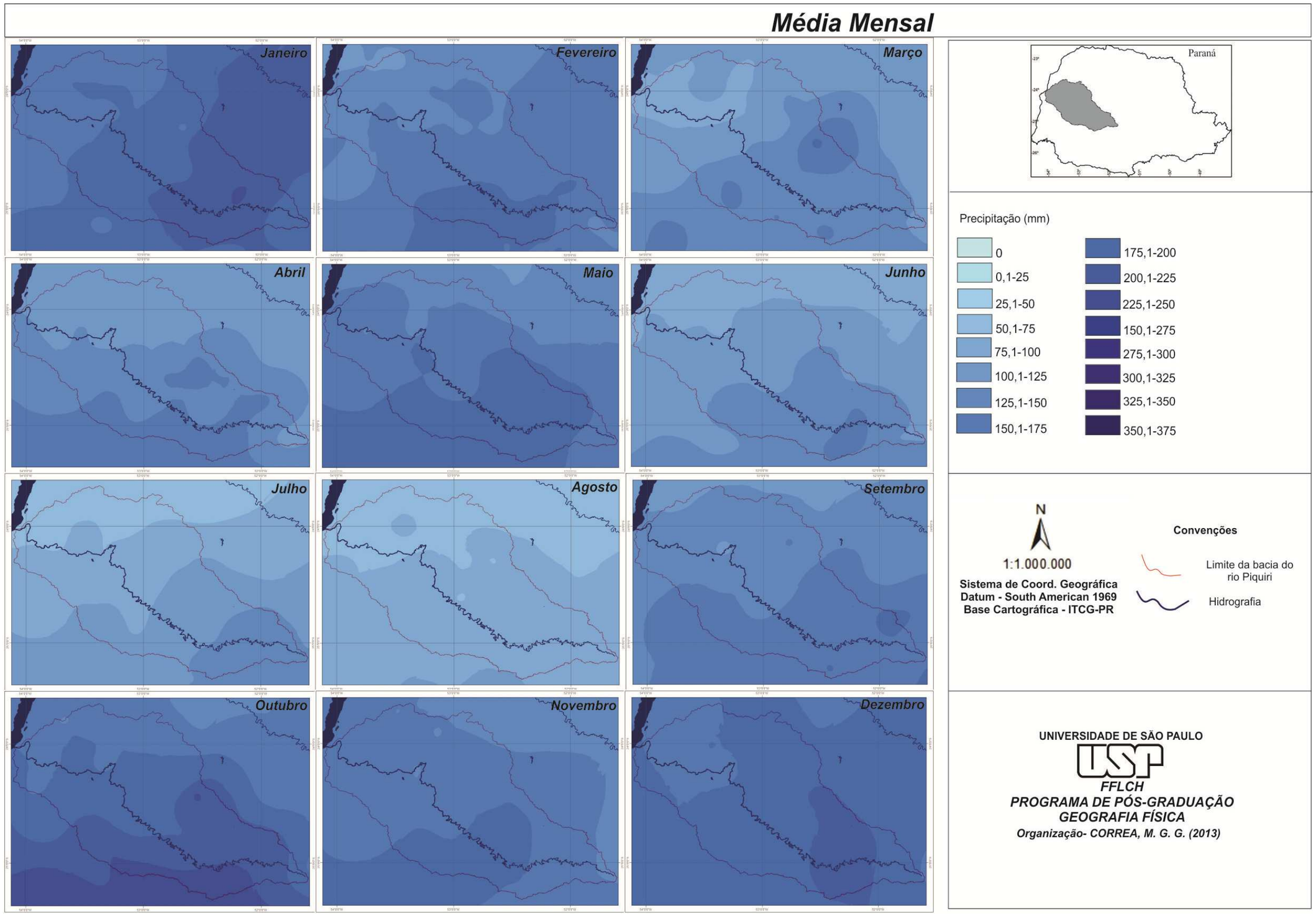

Figura 27: Precipitação média mensal para a bacia do rio Piquiri-PR no período de 1976 a 2010.

4.2 Distribuição espacial e temporal da precipitação para o ano chuvoso (1983)

O ano de 1983 apresentou singularidades no que diz respeito às condições climáticas globais, Weykamp (2006) ao estudar casos específicos de eventos extremos de precipitação pluviométrica demonstra que um fenômeno importante que influencia o regime pluvial interanual no centro-sul do Brasil é El Niño-Oscilação Sul (ENOS). Kousky e Cavalvanti (1984) já haviam observado o avanço ativo dos sistemas frontais no sul do Brasil nos anos de 1982-1983 devido à oscilação positiva do ENOS.

Segundo Grimm (2009), o fenômeno ENOS trata-se de uma oscilação interativa entre o oceano e atmosfera, alterando assim a Temperatura da Superficie do Mar (TSM), a pressão, o vento e a convecção tropical. Durante episódios de ENOS ocorre um aumento anormal da TSM sobre o oceano Pacifico Equatorial (centro-leste) o que provoca um aumento generalizado nos processos convectivos nessa região do planeta. A autora discute que durante ocorrências positivas do fenômeno, predominam anomalias ciclônicas sobre todo o sudoeste da América do Sul, facilitando a entrada de umidade do oceano Atlântico Equatorial que é desviada para o sul do Brasil, onde predomina a convergência de umidade.

O acréscimo na precipitação sobre o sul do Brasil em ocorrências de ENOS é também influenciada por anomalias na circulação do ar, com o fortalecimento dos jatos subtropicais e advecção da vorticidade ciclônica ocorre o favorecimento dos movimentos ascendentes aumentando a ocorrência de ciclogênese e de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) sobre a região. Segundo Dias et al. (2009) os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) são responsáveis por boa parte da precipitação nos trópicos e latitudes médias nos períodos mais quentes do ano.

Maddox (1980) é um dos precursores nos estudos voltados à compreensão e funcionamento deste fenômeno. Velasco e Fritsch (1987) adaptaram a técnica objetiva de

classificação dos CCMs introduzida por Maddox (1980) e fizeram um mapeamento das regiões de ocorrência e das características diversas associadas bem como a distribuição espacial da ocorrência dos CCMs na América do Sul e concluíram que, a maioria das ocorrências é em períodos de maior aquecimento como a primavera e o verão, principalmente entre 15° e 30° de latitude sul. A maioria destes sistemas apresenta características típicas, a condição geográfica do continente favorece a circulação de vale, proporcionando a formação de nuvens que é viabilizado devido os jatos de baixos níveis, que direcionados da Amazônia, trazem calor e umidade para o sul do continente. Caracteristicamente os CCMs tem hábito noturno e costumam provocar intensas chuvas, ventos fortes e trovoados no oeste da região sul do Brasil.

A ação conjunta destes sistemas fortalecidos pela anomalia ENOS resultou em 1983 como um ano consideravelmente chuvoso para o sul do Brasil, ao analisar a Figura 28 observa-se que a precipitação pluviométrica concentrou-se no setor centro-sul da bacia do rio Piquiri (2600 a 2900 mm) enquanto o norte da bacia apresentou os menores valores de precipitação pluvial (2000 a 2300 mm). Em relação à média histórica ocorreu um aumento de 30% na precipitação no setor norte e 24% no setor sul da bacia para o ano de 1983. Na média choveu 789,4 mm (31,2%) a mais que o registrado na média histórica.

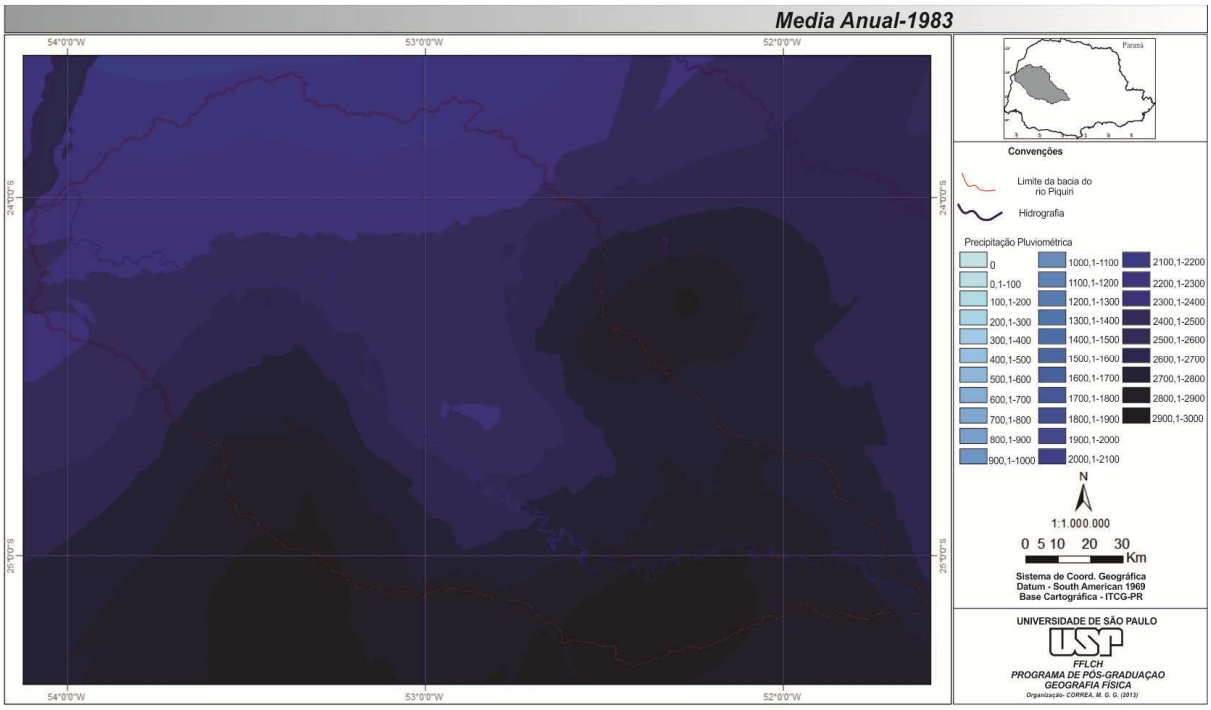

Figura 28: Precipitação total do ano chuvoso (1983) para a bacia do rio Piquiri-PR.

Sazonalmente, para o ano chuvoso de 1983 a precipitação se concentrou no outono. Importante observar que a precipitação se distribuiu de forma regular entre o verão (23,4%), a primavera (20,7%), e o inverno (20,9%) variando entre 500 a 600 mm, no outono (35%) choveu em média 889,6 mm para o período, Figura 29.

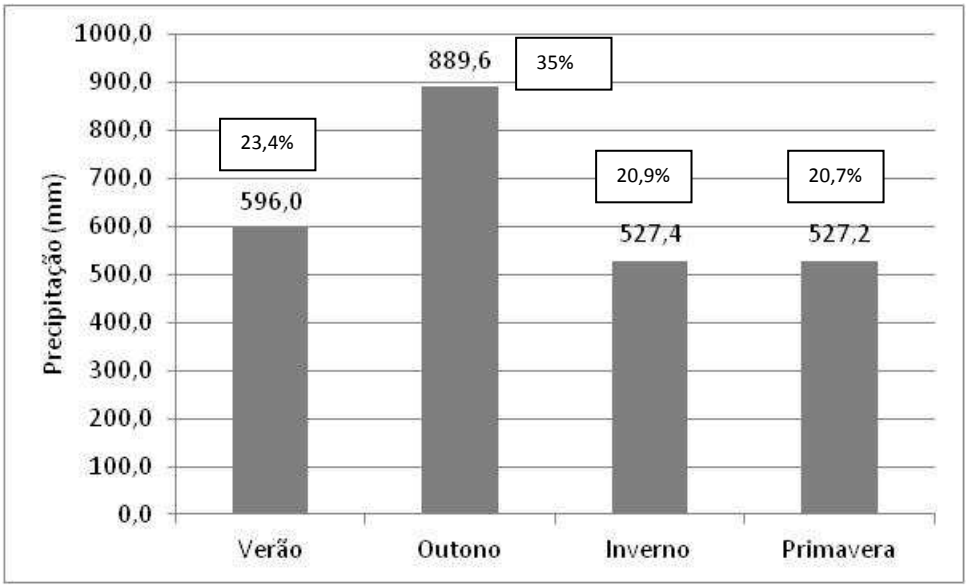

Figura 29: Distribuição sazonal da precipitação média na bacia do rio Piquiri-PR para o ano de 1983. **Org.** Correa, 2012.

Analisando a variabilidade espacial pluvial, Figura 30, observa-se que durante o verão o núcleo de maior concentração da precipitação se localizou sob o centro-oeste da bacia, no outono o sudeste e o sudoeste apresentaram maiores valores de precipitação (880 a 970 mm) sendo o norte o setor que menos choveu (760 a 840 mm), no inverno e na primavera o núcleo de maior precipitação ficou restrito ao sul da bacia do rio Piquiri.

Em relação à média histórica, a concentração da chuva no outono foi 53,2% maior em 1983, resultando em um acréscimo médio de 470,8 mm, no inverno choveu 37,9% mais do que registrou-se na média histórica e no verão houve um aumento de 21,5% na precipitação média acumulada, enquanto a primavera apresentou-se com redução de -1,8% na precipitação.

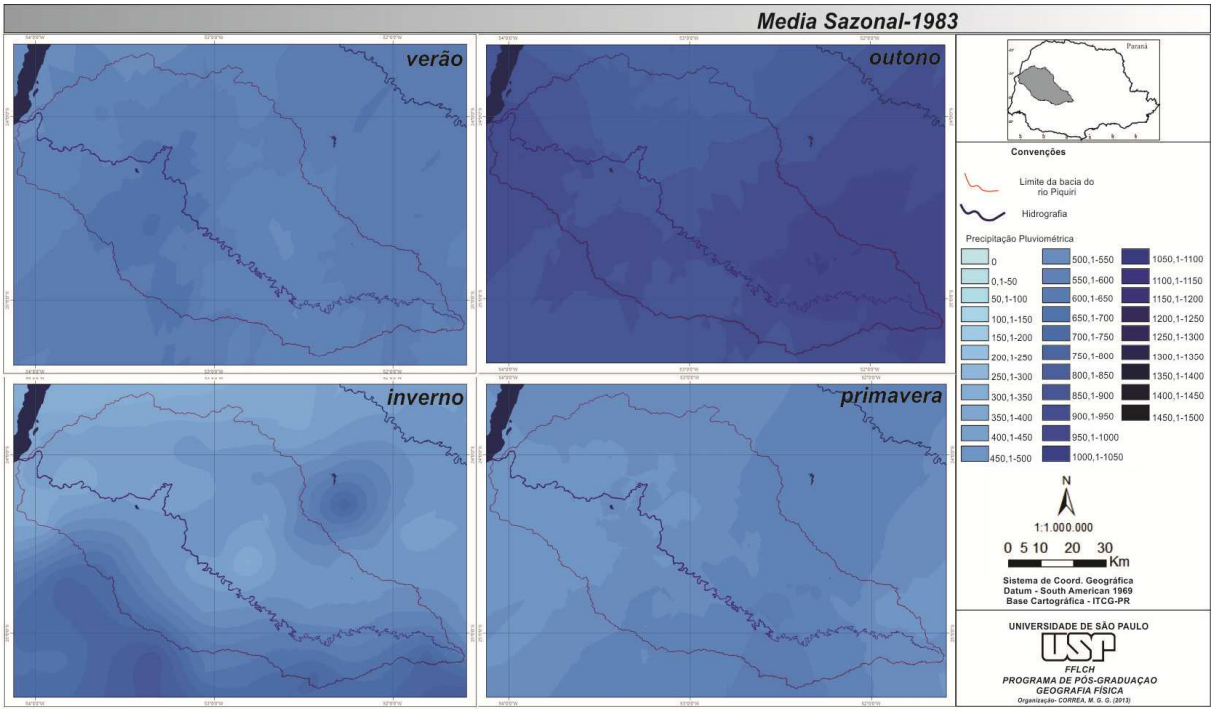

Figura 30: Precipitação média sazonal para a bacia do rio Piquiri-PR em 1983

Observando a Tabela 5 com os respectivos acréscimos e decréscimos mensais nota-se que os maiores acréscimos na precipitação ocorreram nos meses de maio, junho e setembro enquanto o mês de agosto apresentou um decréscimo de 90,9%. Em média o desvio padrão

mensal foi de 95,5 mm o que significa um acréscimo de 64,5% em relação ao desvio padrão analisado na média histórica.

Tabela 5: Acréscimos e decréscimos mensais na precipitação média de 1983 comparada com a média histórica para todos os 73 postos da bacia do rio Piquiri.

Meses	*M. Histórica (mm)*	*M. Ano Chuvoso (mm)*	*(%)*
Jan	186,0	189,6	+1,8
Fev	157,6	165,5	+4,7
Mar	124,8	241,0	+48,2
Abr	133,8	241,0	+44,4
Mai	164,6	374,4	+56
Jun	116,6	274,6	+57,5
Jul	98,3	194,9	+49,5
Ago	82,0	7,4	-90,9
Set	147,7	325,1	+54,5
Out	192,7	238,0	+19
Nov	162,6	165,8	+1,9
Dez	183,4	123,4	-32,7
Total	1750,1	2540,1	+68,8
D.P.	33,9	95,5	+64,5

Org. Correa, 2012.

Maio foi o mês que obteve a maior valor acumulado de precipitação no ano, nota-se na Figura 31 que o núcleo de maior concentração de precipitação localizou-se em dois pontos da bacia, um no extremo oeste e outro no extremo leste-nordeste, enquanto o norte registrou os menores valores de precipitação.

Por estar em um período de transição entre o verão e o inverno, a circulação atmosférica nos meses de maio e junho são marcados pela passagem de sistemas frontais, no caso de anos de ocorrência do ENOS as condições atmosféricas proporcionam ainda maior efetividade de ciclogênese e ocorrência de CCM sobre o oeste da região sul do Brasil.

Ao contrário de maio e junho, agosto que apesar de apresentar-se historicamente como o mês mais seco, em 1983 sofreu uma redução considerável no total precipitado (ver Tabela 5). Observando a Figura 31 nota-se que a precipitação pluviométrica variou entre 0-6 mm em quase toda a bacia, com exceção do sul, tendo uma variação ente 6-29 mm.

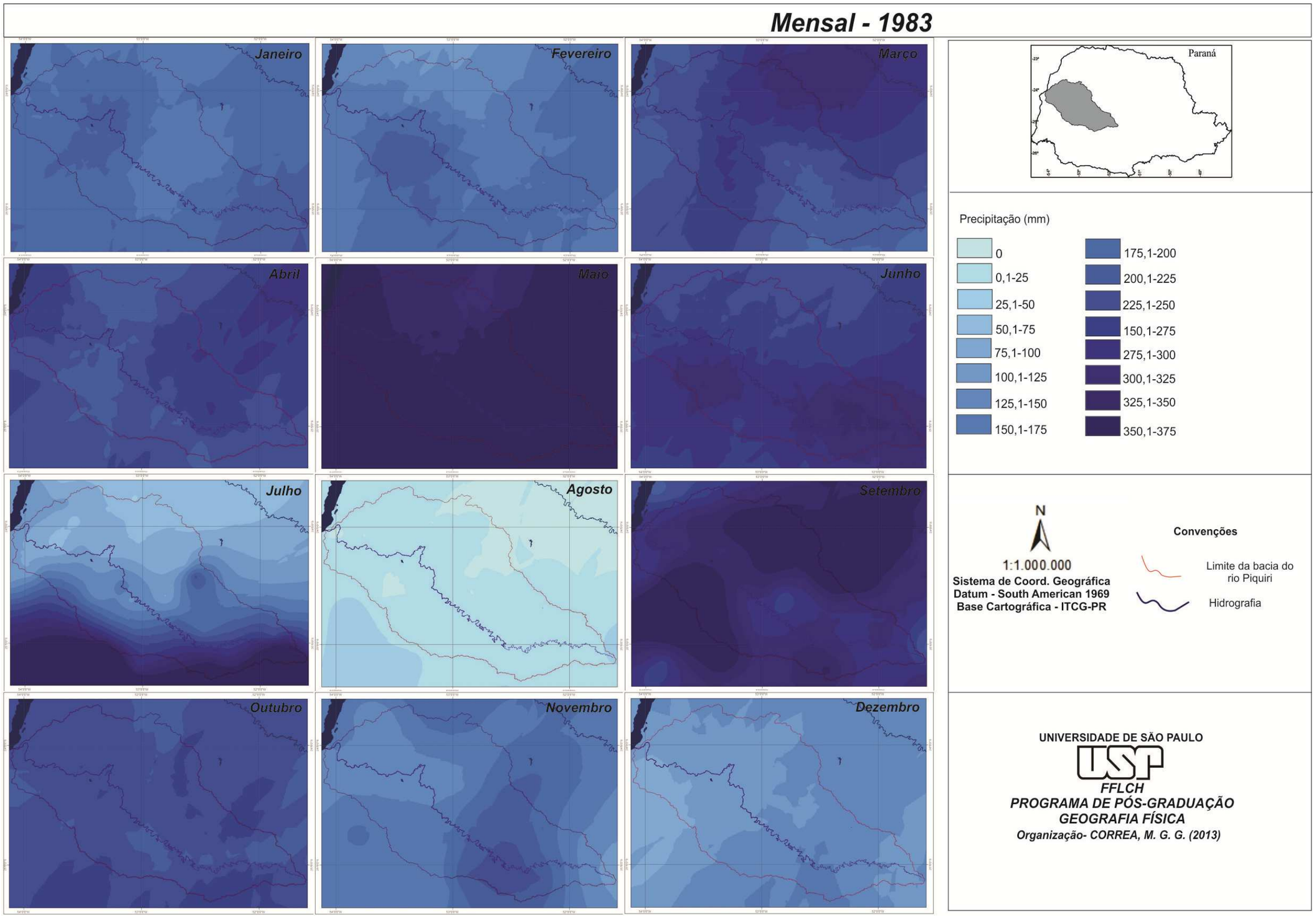

Figura 31: Precipitação média mensal na bacia do rio Piquiri-PR em 1983.

4.3 Distribuição espacial e temporal da precipitação para o ano seco (1978)

Como especificado anteriormente o critério de escolha dos anos excepcionais não levou em consideração as condições sinóticas e sim a distribuição “característica” da precipitação. O ano de 1978 apresentou tais condições na distribuição da precipitação tendo a maioria dos meses à precipitação registrada abaixo da média climatológica. Diferente do ano chuvoso (1983) que coincidiu com a anomalia da TSM e consequente ocorrência de ENOS fase positiva, no ano de 1978 não ocorre o mesmo, apesar de ser um ano seco, não há registros de ocorrência de ENOS fase negativa (La Niña), segundo o CPTEC/INPE o ano de 1978 foi registrado ocorrência de ENOS fase positiva (El Niño) de intensidade fraca. O ano de 1978 apresentou-se como um ano seco devido as condições atmosféricas predominantes no período, sendo assim, busca-se na literatura especifica as possíveis causas de tal anormalidade.

Bloqueios atmosféricos, presença atenuante da Massa Tropical Continental podem ter auxiliado na diminuição considerável das chuvas para o ano de 1978. Para Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a dinâmica das massas de ar demonstra que a Massa Tropical Continental (mTc) caracteriza-se como um bolsão de ar seco e quente que se forma no interior do continente sul americano no final do inverno e inicio da primavera, com presença ativa nas condições de tempo durante o verão.

É comum no sul do Brasil períodos prolongados de estiagem, principalmente durante o verão, Bernardes et al. (1988) estudaram a ocorrência de veranicos no estado do Paraná e identificaram que na região oeste/noroeste do estado há maior probabilidade de ocorrências mais intensas de veranicos, sendo no período chuvoso (setembro a março) a frequência de ocorrência de sete dias ou mais de estiagem nas regiões central e oeste do Paraná de 8 a 9.

A variabilidade anual da precipitação no ano seco indica o setor noroeste com menor incidência pluvial variando entre 936 a 1046 mm, isso significa uma redução de 33,8% em

relação à média climatológica. O setor leste apresenta-se com o mais chuvoso para o período e tem uma redução de 28,4% em relação a media, Figura 32.

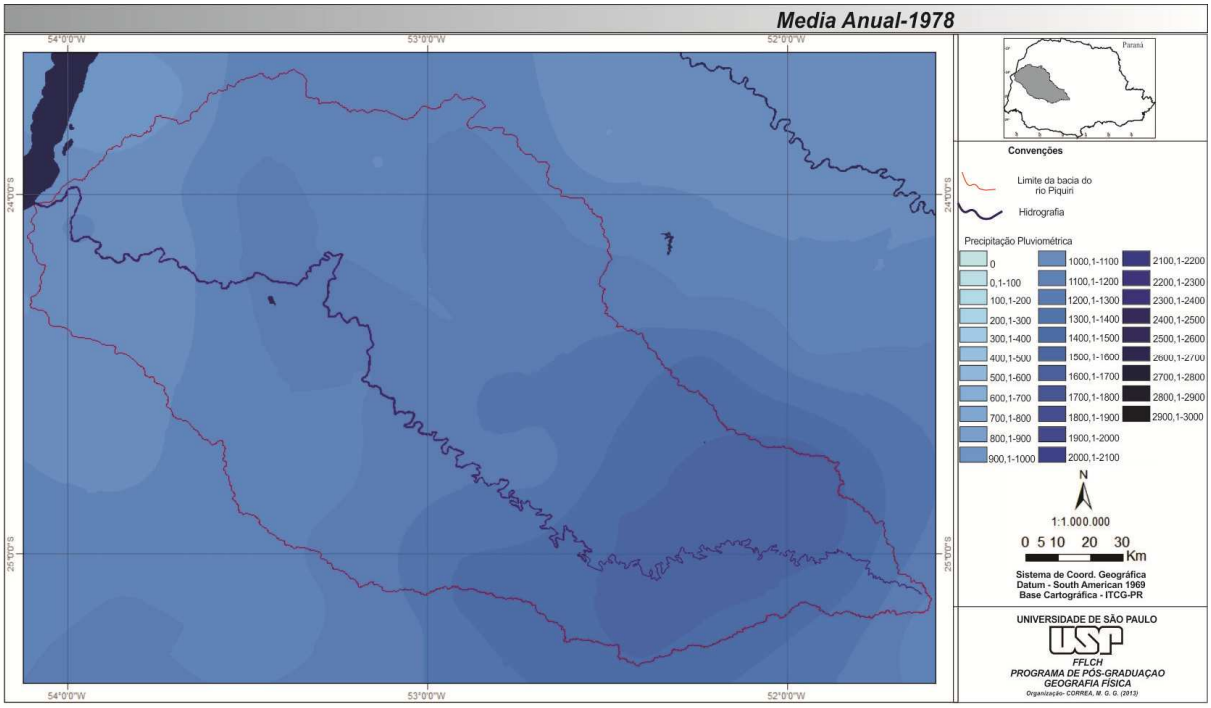

Figura 32: Precipitação total do ano seco (1978) para a bacia do rio Piquiri-PR

Analisando a distribuição sazonal observa-se que o inverno foi a estação mais chuvosa para o período (34,7%) e o outono o mais seco (12,1%), e o verão e a primavera com 20,7% e 32,5% respectivamente, como pode-se observar na Figura 33.

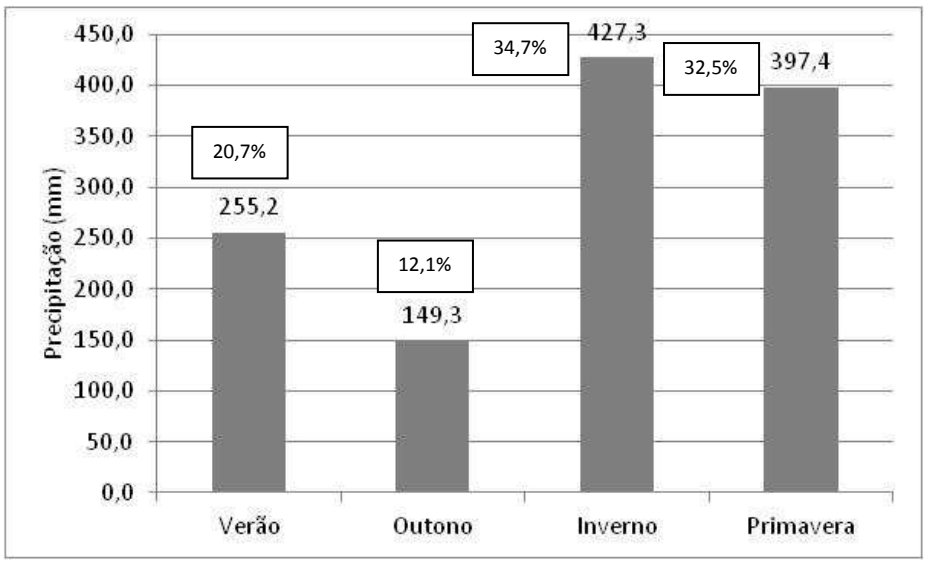

Figura 33: Distribuição sazonal da precipitação média na bacia do rio Piquiri-PR para o ano de 1978. **Org.** Correa, 2012.

O verão e o outono apresentaram-se como os períodos mais secos, com o inverno sendo acrescido no total pluviométrico e a primavera voltando à redução antes observado no inicio do mesmo ano. Espacialmente a variabilidade pluvial apresentou acréscimo característico no sentido oeste-leste, sendo o setor oeste o mais afetado pela redução pluviométrica, ao contrario do leste e extremo sul, que se mantiveram como o setor mais chuvoso, Figura 34.

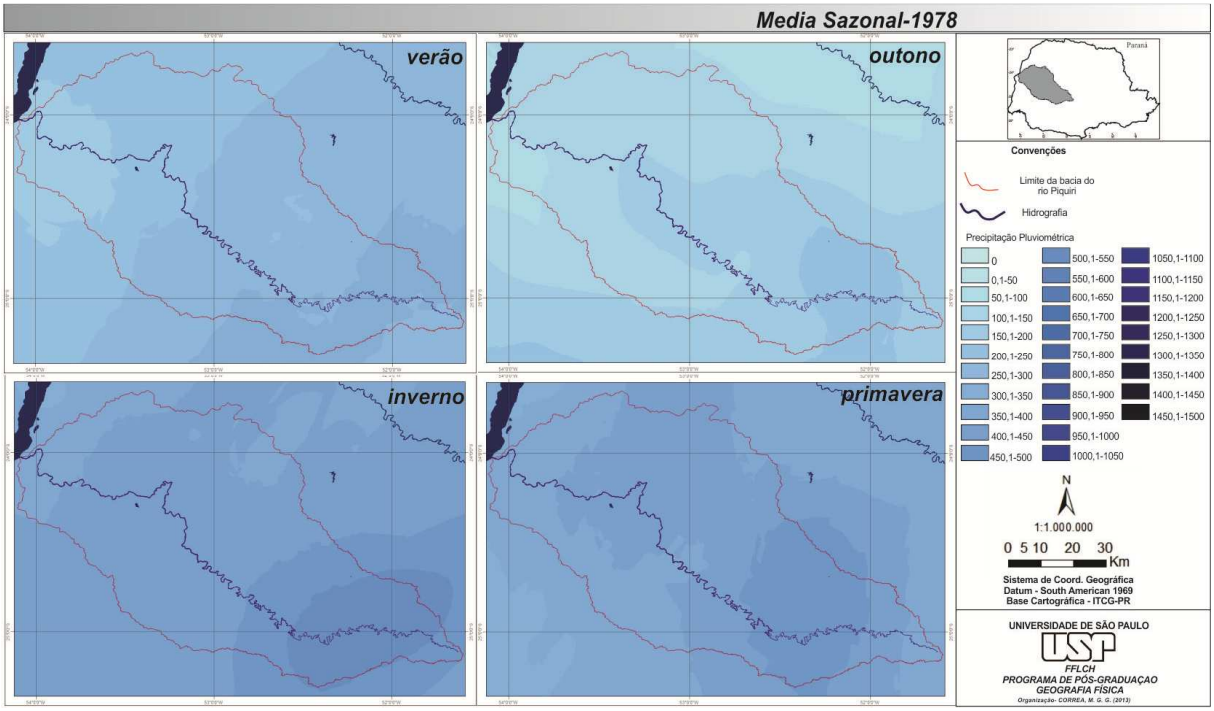

Figura 34: Precipitação média sazonal para a bacia do rio Piquiri –PR em 1978.

A Tabela 6 mostra os acréscimos e decréscimos da pluviometria mensal para o ano de 1978, destacando-se o mês de abril como o mês que apresentou o maior decréscimo, ao contrario de julho que apresentou o maior acréscimo. Em relação à média histórica o decréscimo na precipitação foi de 29,9% e o desvio padrão foi de 56,6 o que significa um aumento de 40,1%.

Tabela 6: Acréscimos e decréscimos mensais na precipitação média de 1978 comparada com a média histórica para todos os 73 postos da bacia do rio Piquiri.

Meses	*M. Histórica (mm)*	*M. Ano Seco (mm)*	*(%)*
Jan	186	88	-52,6
Fev	157,6	56,6	-64
Mar	124,8	110,6	-11,3
Abr	133,8	8,9	-93,3
Mai	164,6	86,9	-47,2
Jun	116,6	53,4	-54,2
Jul	98,3	212,5	+53,7
Ago	82	70,6	-13,9
Set	147,7	144,2	-2,3
Out	192,7	82,2	-57,3
Nov	162,6	163,3	+0,4
Dez	183,4	151,9	-17,1
Média	1750,1	1229,2	-29,8
D.P.	33,9	56,6	+40,1

Org. Correa, 2012.

O padrão das isoietas para o mês de abril obedece a uma orientação diferente do usual para a área de estudos, orientadas de norte para sul em sentido decrescente de pluviometria acumulada em toda a bacia do rio Piquiri a precipitação variou entre 0 a 32 mm, sendo que o setor centro-sul e oeste tiveram os menores valores acumulados (0 a 5 mm), como pode-se observar na Figura 35.

Climatologicamente os meses invernais tendem a ser os mais secos (ou menos chuvosos) para a bacia do rio Piquiri, isso como já explicado anteriormente, devido a presença eficiente dos sistemas frontais e da Massa de ar Polar (mPa) que provocam usualmente queda na temperatura, geadas frequentes e pouca precipitação pluviométrica. Para julho de 1978 não foram essas características observadas no que diz respeito na distribuição das chuvas, mesmo num ano considerado seco, julho ultrapassou em 53,7% as medias climatológicas de

pluviometria e destaca-se como o mês mais chuvoso deste ano, sendo que o leste-sul são os setores mais chuvosos, (270 a 350 mm) ao contrario do norte-nordeste onde registrou-se os menores valores precipitados para o mês (100 a 190 mm), Figura 35.

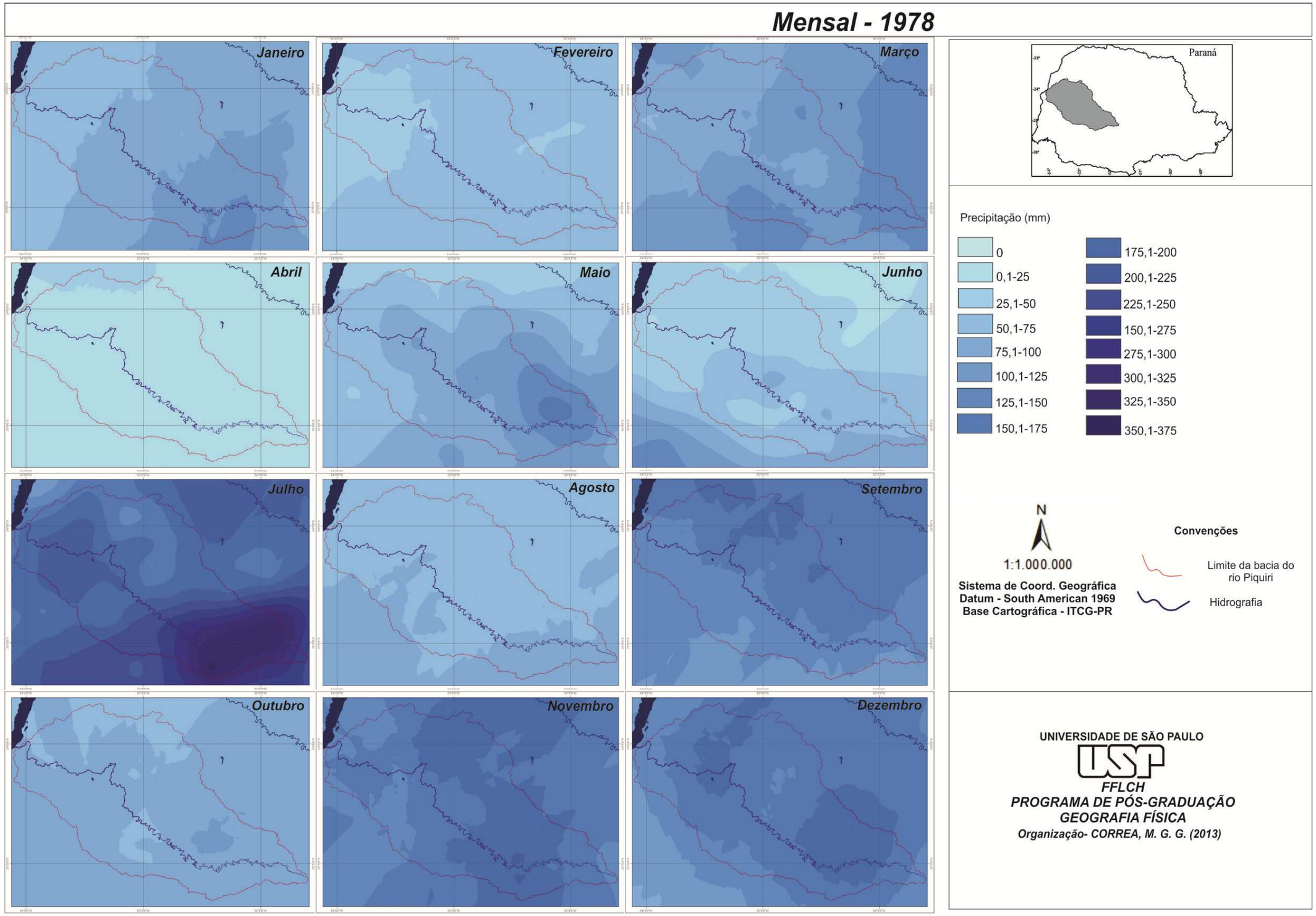

Figura 35: Precipitação média mensal na bacia do rio Piquiri-PR em 1978.

4.4 Distribuição espacial e temporal da precipitação para o ano habitual (2001)

O conceito do ano habitual não deve ser entendido no sentido literal, como já observado anteriormente, mesmo em anos chuvosos alguns meses apresentaram pluviometria abaixo da média climatológica, portanto o ano de 2001 (habitual) não se trata de uma repetição do que já foi explanado anteriormente, mas uma forma de explicar a variabilidade do fenômeno mesmo em uma situação de "normalidade". Berezuk e Sant'Anna (2006) ao estudarem eventos extremos no oeste paulista e norte paranaense selecionaram eventos no ano de 2001 e demonstraram que estas excepcionalidades foram tão intensas neste ano quanto em anos de El Niño/La Niña. Analisando a Figura 36 com a distribuição da precipitação total para o ano de 2001 na bacia do rio Piquiri observa-se que os valores médios registrados variam entre 1200 a 2000 mm, sendo o setor centro-norte o menos chuvoso e o sudeste o mais chuvoso, nota-se também a não configuração de um núcleo característico de maior concentração da precipitação, mas sim pequenos núcleos separados entre si.

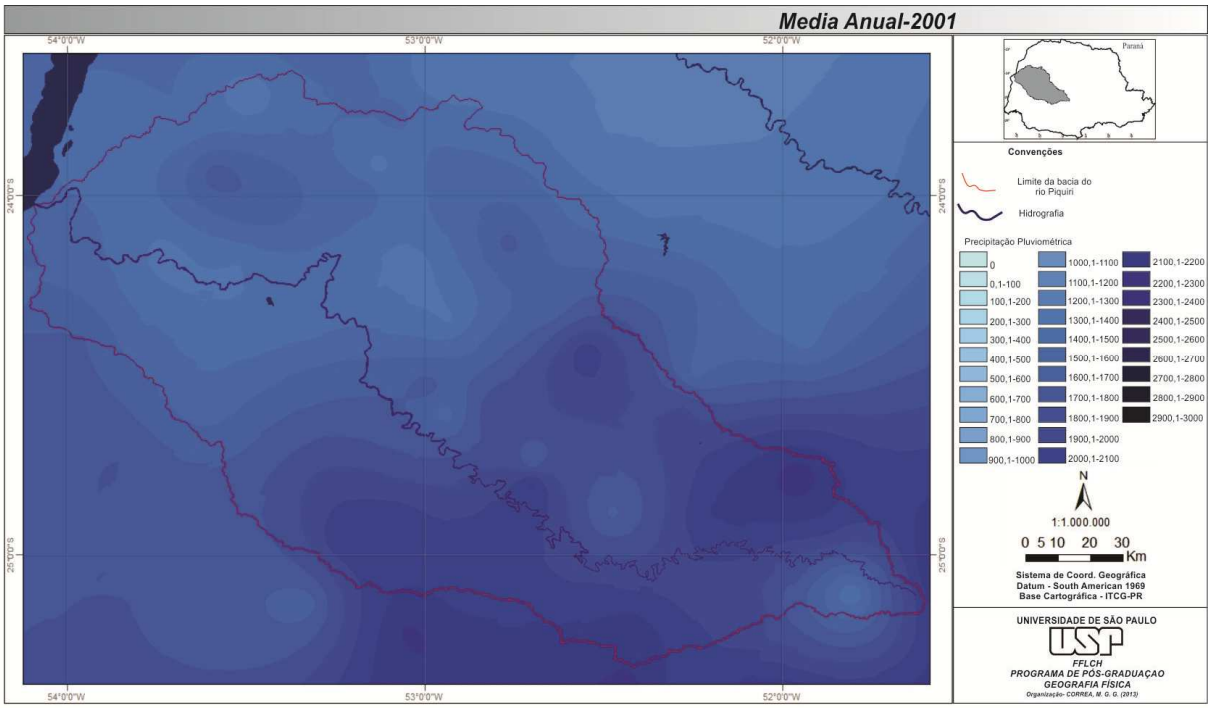

Figura 36: Precipitação total do ano habitual (2001) para a bacia do rio Piquiri-PR.

Sazonalmente o verão apresentou-se como a estação mais chuvosa (34,7%) seguido da primavera (28,3%), outono (20,2%) e o inverno a mais seca (16,8%) como pode-se observar a Figura 37, diferentemente a média climatológica indica que a primavera é a estação mais chuvosa e o inverno a mais seca

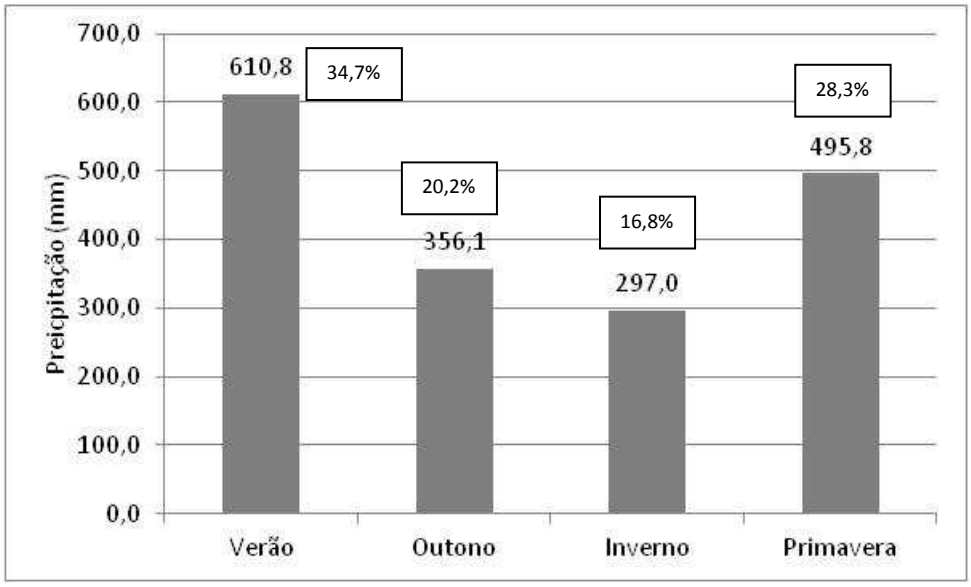

Figura 37: Distribuição sazonal da precipitação média na bacia do rio Piquiri-PR para o ano de 2001. **Org.** Correa, 2012.

As isoietas sazonais indicam o centro-norte da bacia com os menores valores de precipitação em contraste com o sul-sudeste com os maiores valores, com exceção da primavera, quando as isoietas de menor valor ficam restritas ao extremo oeste. No verão, a estação mais chuvosa de 2001, observa-se uma célula de diminuição da precipitação acumulada localizada no centro-norte da bacia enquanto o sul tem os maiores valores de precipitação (700 a 780 mm), no outono a situação é parecida com o verão, mas com valores reduzidos, variando entre 190 a 500 mm em toda a bacia.

Para o inverno é possível distinguir uma célula de concentração da precipitação ao sul e outra ao leste da bacia, ambas com valores variando entre 370 a 480 mm e na primavera o

setor centro-oeste apresenta-se como o menos chuvoso (400 a 480 mm), enquanto o norte e extremo leste apresenta-se como o mais chuvoso (520 a 600 mm), figura 38.

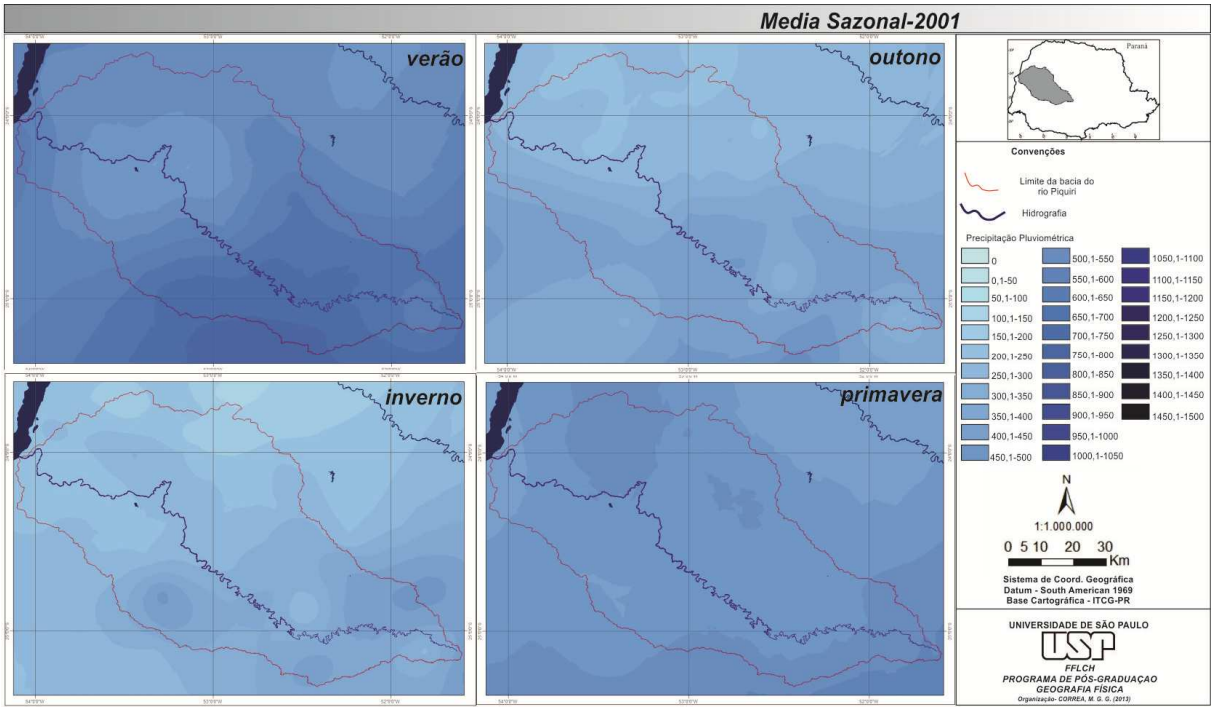

Figura 38: Precipitação média sazonal para a bacia do rio Piquiri-PR em 2001

A tabela 7 mostra os acréscimos e decréscimos percentuais para cada mês de 2001, nota-se que o maior acréscimo foi em fevereiro e o maior decréscimo em maio e outubro. De forma geral quatro meses apresentaram aumento na precipitação com relação à média histórica e oito meses diminuíram, sendo que nove meses tiveram variação (+/-) menor que 20%.

Tabela 7: Acréscimos e decréscimos mensais na precipitação média de 2001 comparada com a média histórica para todos os 73 postos da bacia do rio Piquiri.

Meses	*M. Histórica (mm)*	*Ano habitual-2001 (mm)*	*(%)*
Jan	186	217,2	+14,3
Fev	157,6	266,2	+40,7
Mar	124,8	127,4	+2
Abr	133,8	117,9	-11,8

Mai	164,6	121,9	-25,9
Jun	116,6	116,3	-0,2
Jul	98,3	92,3	-6,1
Ago	82	73,3	-10,6
Set	147,7	131,4	-11
Out	192,7	143,7	-25,4
Nov	162,6	192,8	+15,6
Dez	183,4	159,3	-13,1
Média	1750,1	1759,6	+0,5
D.P.	33,9	54,7	+38

Org. Correa, 2012.

O mês de fevereiro foi o mais chuvoso de 2001, com acréscimo de 40,7% na precipitação em relação à media histórica, espacialmente as chuvas se concentraram no setor centro sul, enquanto no nordeste/sudoeste e extremo leste apresentaram os menores valores de precipitação. Maio apresentou-se como o mês mais seco, o setor norte com menor volume pluviométrico registrado (50 a 100 mm) e o centro-sul com os maiores valores (140 a 180 mm), como pode-se observar na figura 39.

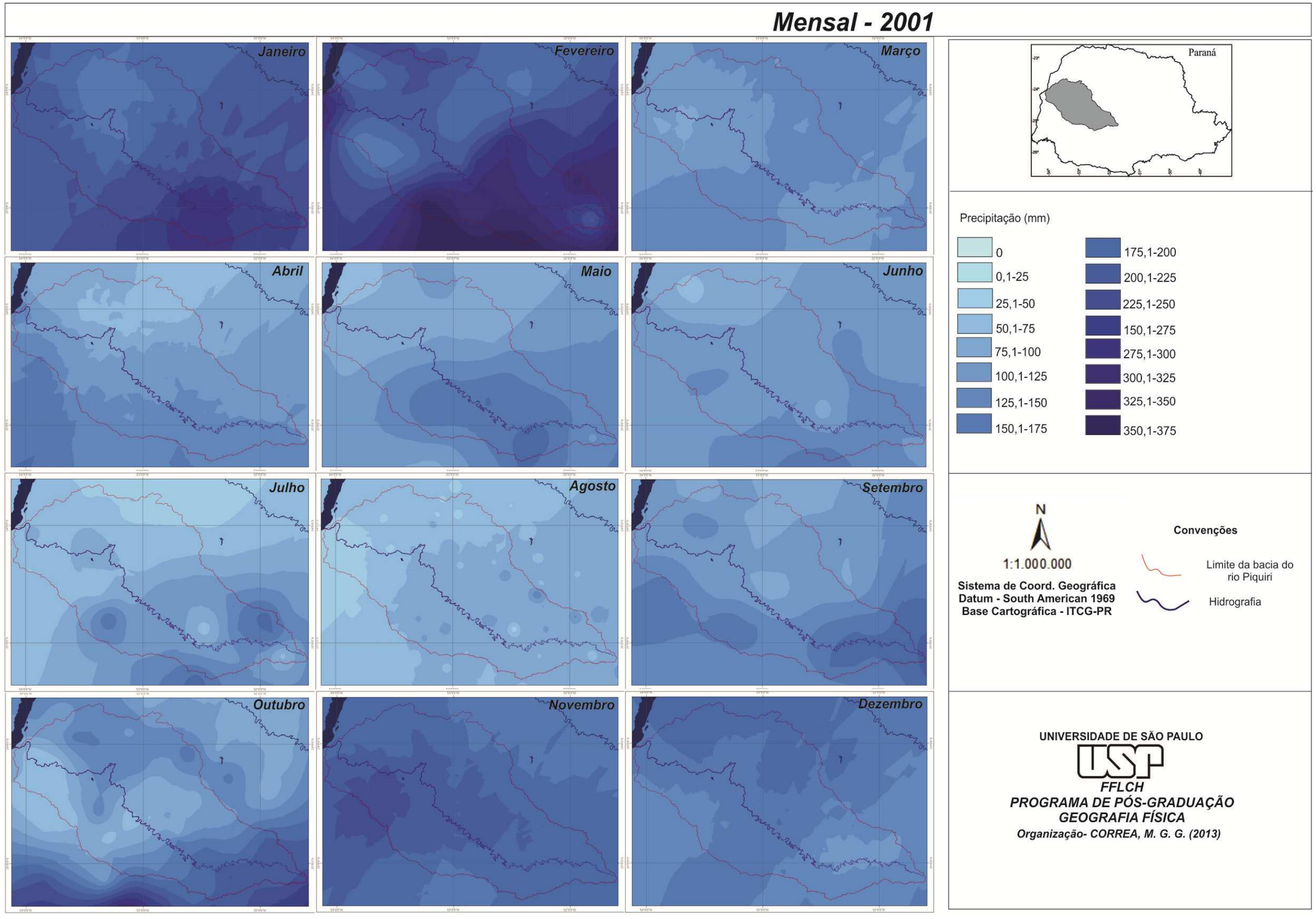

Figura 39: Precipitação média mensal na bacia do rio Piquiri-PR em 2001.

4.5 Disponibilidade hídrica na bacia do rio Piquiri

Anualmente a bacia do rio Piquiri não apresentou deficiência hídrica. Um regime regular da precipitação pluviométrica média anual variando de 80 a 190 mm e temperaturas médias do ar variando de 15 a 23°C anualmente, confere à bacia um regime de disponibilidade hídrica durante o ano todo, caracterizando-a em termos médios como uma área sem restrições hídricas.

Analisando as Figuras 40 e 41 observa-se que o setor centro-sul da bacia onde as temperaturas são menores, de 16 a 18°C também registra-se os maiores excedentes anuais, situação oposta ocorre ao norte e noroeste da bacia, com temperatura média de 20 a 21°C e menor excedente hídrico de 10 a 30 mm.

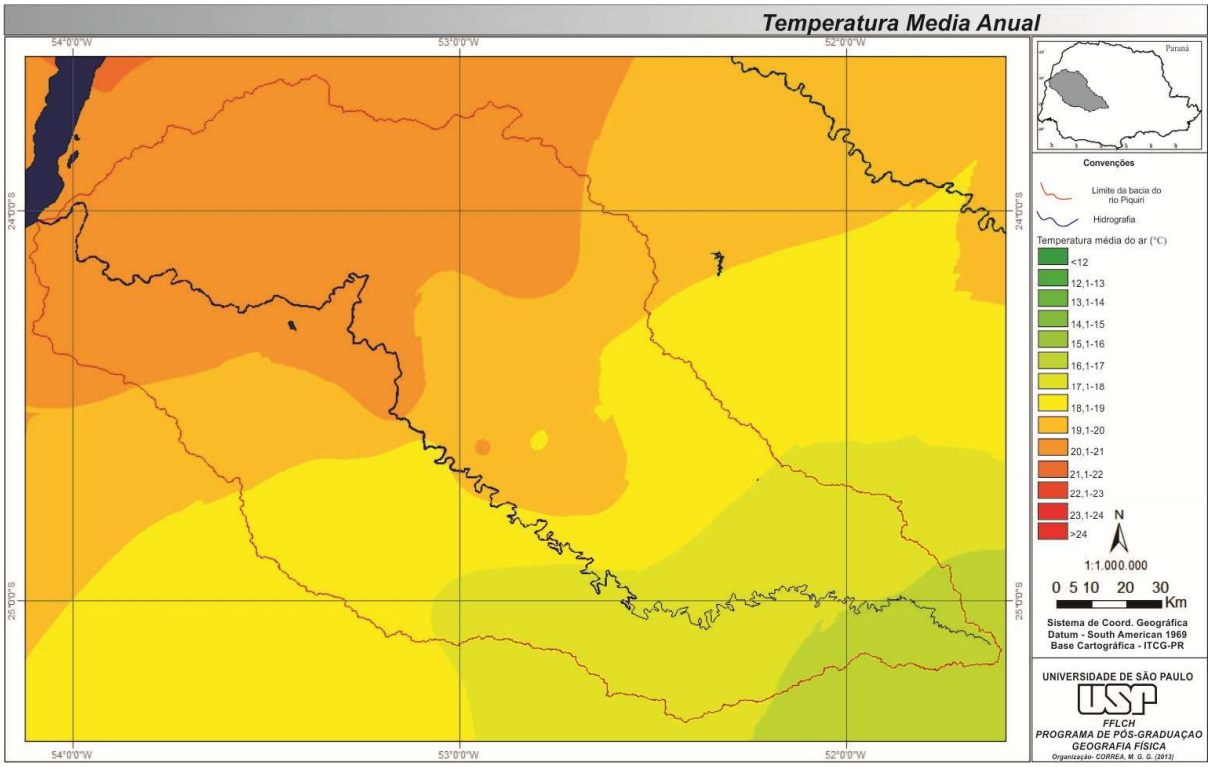

Figura 40: Temperatura média do ar anual estimada pelo método de regressão linear de Pinto e Alfonsi (1974) para a bacia do Rio Piquiri-PR.

.

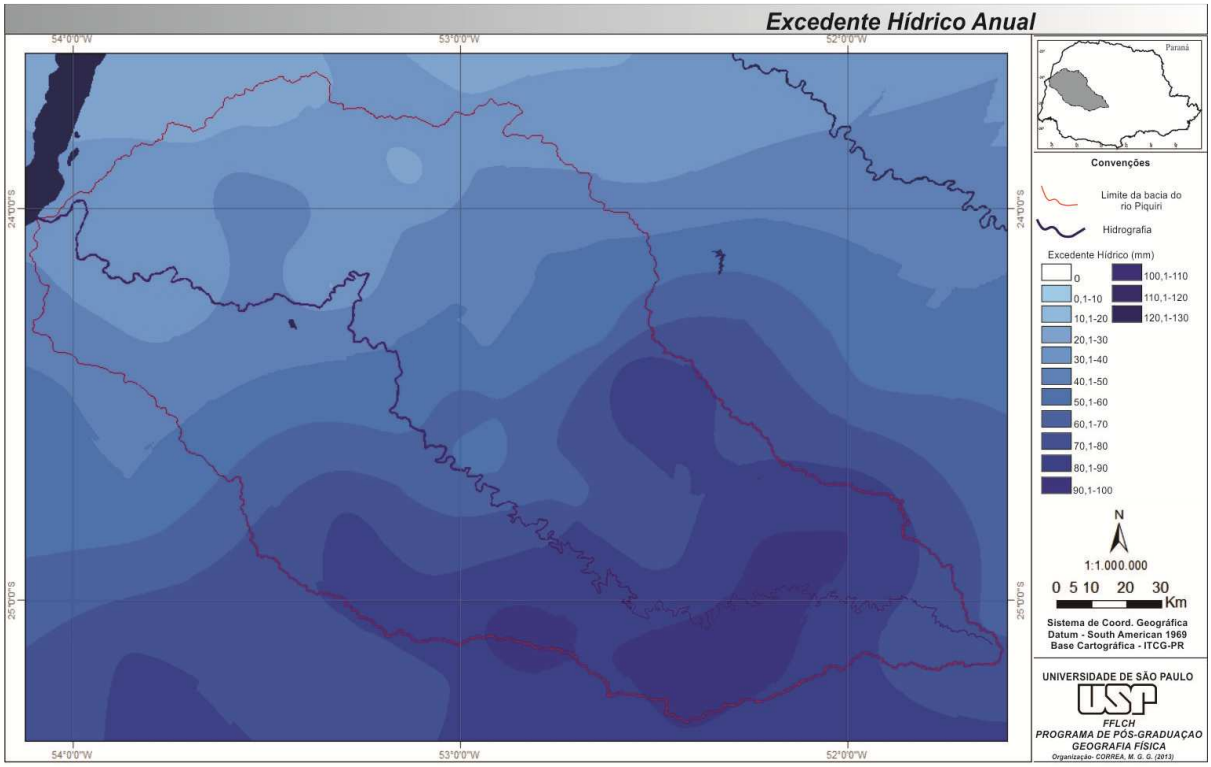

Figura 41: Disponibilidade hídrica média anual para a bacia do rio Piquiri-PR.

Observando a temperatura média do ar para a bacia do rio Piquiri mensalmente, a sazonalidade térmica fica evidenciada com a queda da temperatura a partir do mês de abril até agosto, Figura 42. Analisando a disponibilidade hídrica mensalmente nota-se que ao contrário do panorama médio anual a variabilidade é mais evidente, a Figura 43 mostra os excedentes mensais, maio e outubro apresentaram os maiores excedentes, em média 116,0 mm e 112,0 mm respectivamente, ambos os meses apresentaram uniformidade na distribuição espacial dos excedentes hídricos, sendo o setor sul com maior concentração, diminuindo gradualmente em direção o norte da bacia. Os meses de maio e outubro são os mais chuvosos, a conjuntura de sistemas atmosféricos associados às características do relevo proporciona ao setor sul da bacia um acumulo médio de umidade para maio e outubro que se destaca dos demais meses.

Os meses de março e agosto apresentaram os menores excedentes, agosto é o mês menos chuvoso para a média histórica analisada, consequentemente apresenta um pequeno excedente hídrico, em média 32,0 mm, porém março e fevereiro são os meses com maior

variabilidade hídrica, apresentando em média 27,0 mm e 52,0 mm respectivamente, o extremo norte da bacia, apresentou uma retirada no mês de fevereiro e em março todo o oeste e norte da bacia, apresentou deficiência hídrica de aproximadamente 1 a 2 mm.

O fator que contribui para essa deficiência hídrica no mês de março em todo o norte, noroeste e oeste da bacia, é a temperatura do ar. Observando a Figura 42 nota-se que ainda em março estes setores da bacia apresentam temperaturas elevadas, 23 a 24°C, isso ocasiona um aumento da evapotranspiração potencial, maximizado devido à diminuição considerável das chuvas nessa época do ano, se comparar aos meses anteriores. Ao contrário de maio, onde os valores de precipitação são elevados e a temperatura média do ar tem uma acentuada redução, principalmente no sul da bacia, com isso os processos de evapotranspiração e evaporação são minimizados e ocorre um aumento do excedente hídrico.

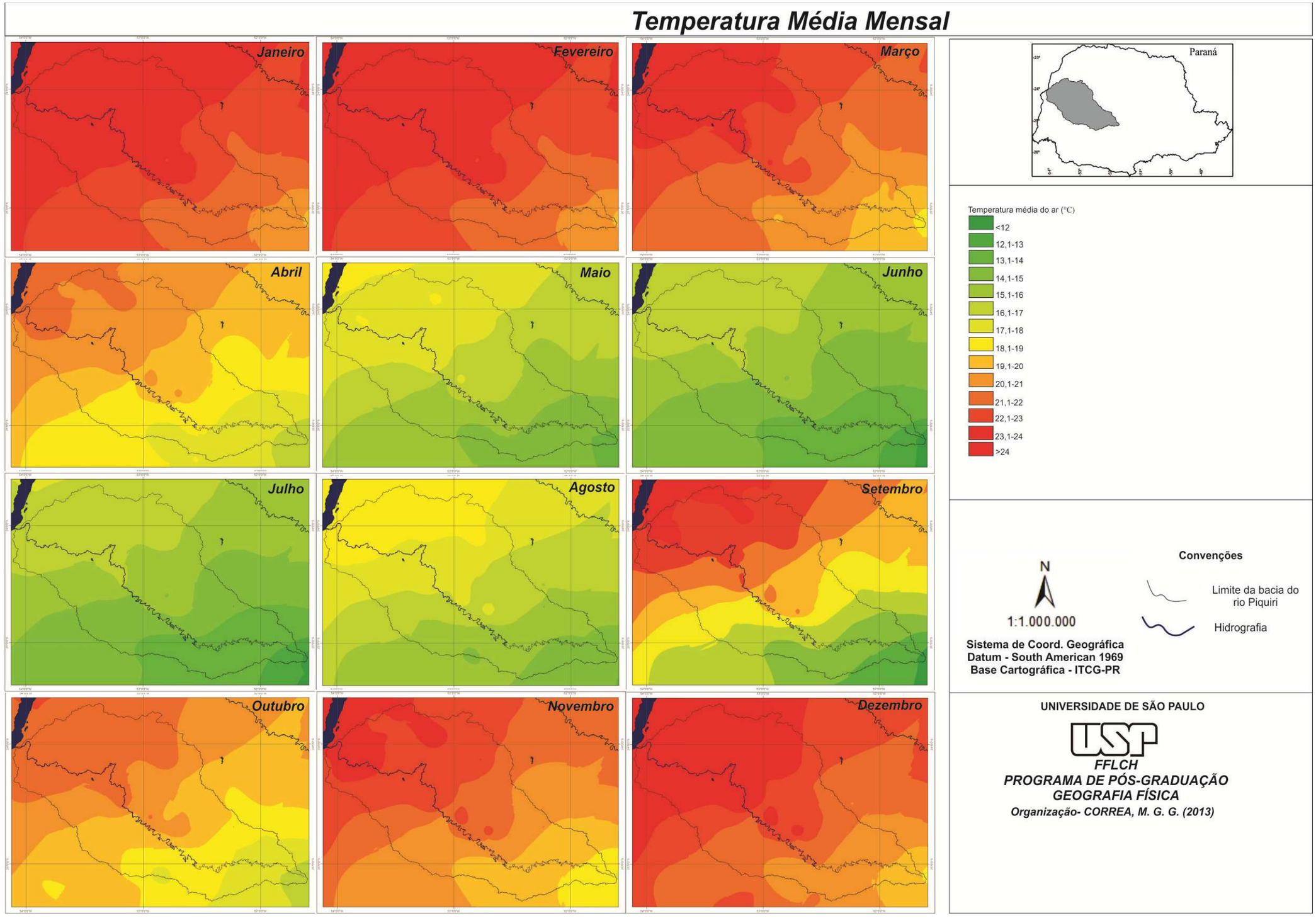

Figura 42: Temperatura média do ar mensal estimada pelo método de regressão linear de Pinto e Alfonsi (1974) para a bacia do Rio Piquiri-PR.

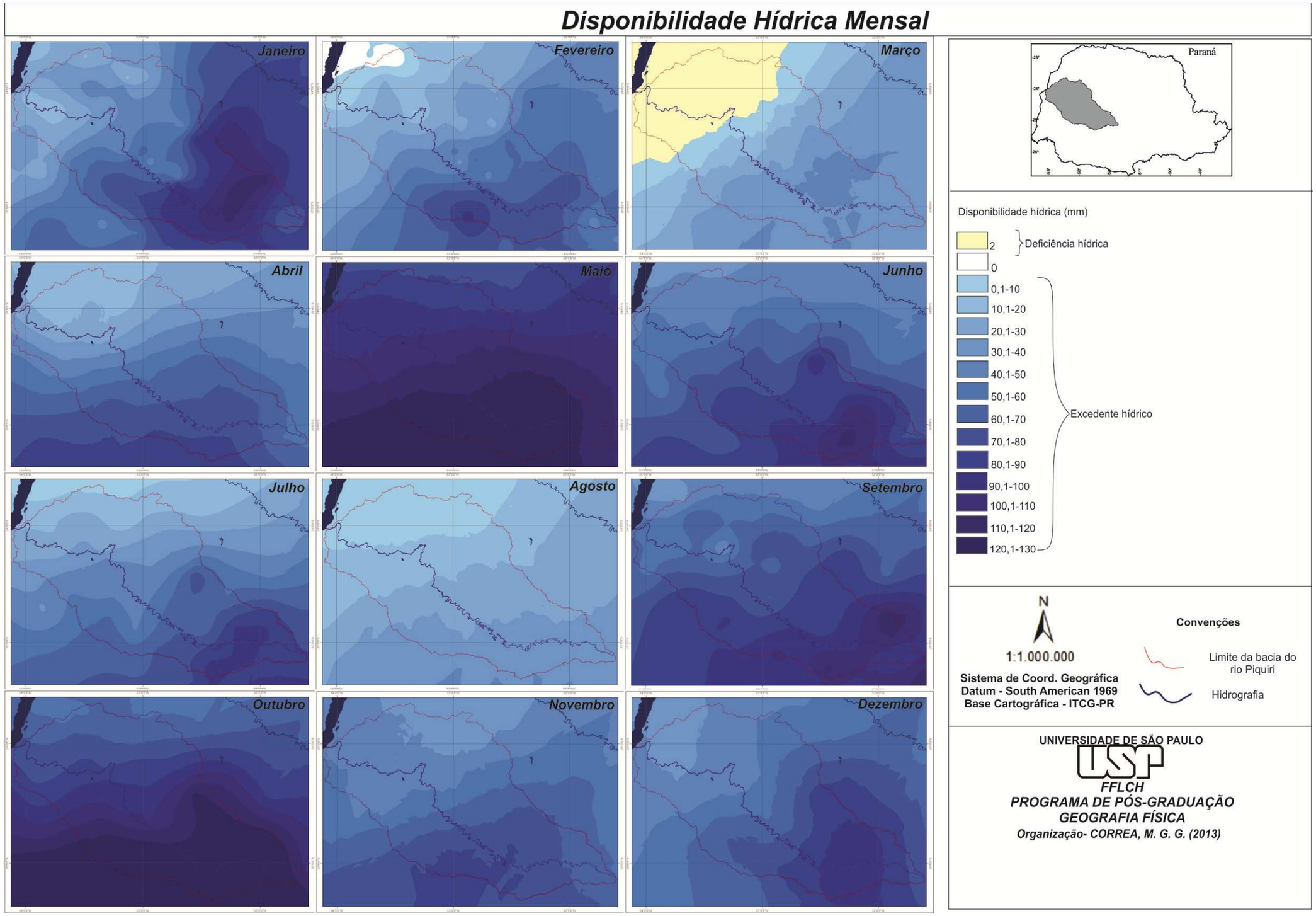

Figura 43: Disponibilidade hídrica mensal para a bacia do rio Piquiri-PR.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Analisando as médias históricas da precipitação pluviométrica observou-se que a bacia do rio Piquiri apresenta uma distribuição característica das chuvas ao longo dos meses, havendo um período de redução das chuvas nos meses invernais e um aumento nos meses estivais, porém não chega a ser uma diferença pluviométrica tão marcante quanto seria em um clima tropical e nem tão homogênea quanto seria em um clima subtropical típico, trata-se, portanto de uma situação de transição entre o clima tropical e subtropical.

Essa configuração de distribuição mensal no padrão de chuvas resulta em uma distribuição anual homogênea ao longo de toda a bacia, sendo o setor norte menos chuvoso e o sudeste o mais chuvoso, o norte é justamente o setor de cotas altimétricas reduzidas, e no sudeste encontra-se as maiores cotas altimétricas, observa-se um direcionamento orográfico de noroeste para sudeste. Observou-se que sazonalmente a variabilidade da precipitação é maior nos meses da primavera e outono, o inverno apresentou-se como um período de diminuição das chuvas.

No ano de 1983 a ocorrência de El Niño acentuou as características pluviométricas observadas nas médias históricas, o setor norte continuou sendo o menos chuvoso e o sudeste o mais chuvoso, o mês de agosto se destacou por apresentar uma redução intensa nos valores de chuva, mesmo em um ano considerado chuvoso.

O ano de 1978 foi categorizado como ano de El Niño de fraca intensidade, a área apresentou uma redução considerável na precipitação pluviométrica e novamente observou-se uma acentuação da variabilidade espacial da precipitação pluviométrica, destacando a redução considerável das chuvas para o mês de abril. Mesmo em uma condição habitual (2001) a variabilidade atribuiu características diferentes daquelas diagnosticadas nas médias históricas,

a noção de média climatológica forneceu um panorama geral das condições pluviométricas, mas a análise detalhada dos anos-padrão selecionados mostrou um panorama diferente, difícil de estabelecer padrões médios de precipitação pluviométrica.

No caso do ano chuvoso o sul e o sudeste apresentaram um aumento ainda maior que o norte e o noroeste na precipitação média, isso aumenta os riscos derivados de longos períodos de chuva. Diferentemente o noroeste e o norte da bacia passaram por um processo mais intenso de redução das chuvas no ano seco, isso se explica ao analisar a disponibilidade hídrica para esta região da bacia, em pelo menos dois meses do ano ocorre restrição hídrica, mesmo sendo muito pequena, essa restrição pode ser acentuada em anos de excepcionalidade pluviométrica.

A falta de dados de temperatura média do ar dificultou uma análise detalhada da disponibilidade hídrica na área de estudo, enquanto a rede de coleta de dados pluviométricos apresentou-se satisfatória para a espacialização das chuvas, a falta de uma rede representativa para os dados de temperatura do ar não possibilitou a obtenção do balanço hídrico climatológico para o ano chuvoso, seco e habitual, uma vez que o procedimento de estimativa da temperatura permite apenas o cálculo da temperatura média anual.

A falta de dados meteorológicos no Brasil ainda é uma realidade com a qual pesquisadores se deparam diariamente, o planejamento efetivo das unidades territoriais e das bacias hidrográficas levando em conta o clima e seus elementos só é possível por meio de uma rede de dados meteorológicos consistente, uniforme e confiável. É importante que os órgãos responsáveis tenham clara a importância e a urgência destes dados para todo o território nacional. Conhecer o funcionamento e as formas de apropriar a paisagem é essencial para o desenvolvimento econômico e social mais justo do país.

O assunto não se esgota com o término deste estudo, no desenvolver da pesquisa dúvidas surgiram, é necessário aprofundar os estudos nos anos excepcionais, cada vez mais a variabilidade climática demonstra-se importante para quem se empenha em compreender o clima, e essas incertezas impulsionam a busca pelo conhecimento.

6 REFERÊNCIAS

AGUIAR, A. M. **Análises hidrogeomorfológicas e hidrossedimentológicas para comparação de duas bacias hidrográficas contribuintes do reservatório de Itaipu**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Variabilidade, anomalia e mudança climática**. Material didático, 2007.

ASSAD, E. D. **Chuva no Cerrado: Análise e espacialiação**. 2 ed. Brasília: Embrapa Cerrados, 2001.

BALDO, M. C.; MARTINS, M. de L. O. F.; NERY, J. T. Análise da estrutura da precipitação pluviométrica na região sul do Brasil. **Boletim de Geografia**, Maringá, n. 1. 2001.

BALDO, M. C. **Variabilidade pluviométrica e a dinâmica atmosférica na bacia hidrográfica do rio Ivaí – PR**. 2006. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

BARROS, V. R.et al. Influence of the South Atlantic convergence zone and South Atlantic sea surface temperature on interannual Summer rainfall variability in Southeastern South America. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 67, p. 123-133, 2000.

BELUSSO, D.; SERRA, E. Caracterização sócio-espacial da agricultura no oeste paranaense: um estudo de caso em Palotina-PR. **Agrária**, São Paulo,n 4, p. 20-39, 2006.

BEREZUK, A. G.; SANT'ANNA NETO, J. L. Eventos climáticos extremos no oeste paulista e norte do Paraná, nos anos de 1997, 1998 e 2001. **Revista Brasileira de Climatologia**, vol. 2, p.9-22, 2006.

BERNARDES. L. R. M.; AGUILAR, A. P.; ABE, S. Freqüência de ocorrência de veranicos no Estado do Paraná. **Boletim de Geografia**: Maringá, n.9, p.83-108, 1988.

BERTALANFFY, L. V. **Teoria geral dos sistemas**. 5 ed. Petropolis: Vozes, 2010.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade – UFRGS, ABRH, 2001.

BERTRAND, G.; BEROUTCHACHVILI, N. Le géosystéme ou système territorial naturel (1978). **Une géograpnie traversière: l'environment à travers territoires et temporalités**. Paris: Éditions l'Arguments, 2002.

CÂMARA, G. et al. Análise espacial e Geoprocessamento. In: FUCKS, S. D. et al. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: FUCKS, S. D.; et al. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: EMBRAPA, 2004.

CANDIDO, D. H.; NUNES, L. H. Influência da orografia na precipitação da área entre o vale do rio Tietê e a Serra da Mantiqueira. **GEOUSP-Espaço e Tempo**. São Paulo, n. 24, p. 08-27, 2008.

CARACRISTI, I. **A natureza complexa da poiésis climática: contribuições teóricas ao estudo geográfico do clima**. 2007. Tese (Doutorado em Geografia Física) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

CARVALHO, L. M. V.; JONES, C. Zona de Convergência do Atlântico Sul. In: CAVALCANTI, I. F. de A. et al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/tab_elnino.shtml> - acesso em 15 fevereiro, 2012.

CHRISTOFOLETTI, A. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1981.

CHRISTOPHERSON, R. W. **Geossistemas: uma introdução à geografia física**. Porto Alegre: Bookman, 2012.

CONTI, J. B. **Circulação secundária e o efeito orográfico na gênese das chuvas na região lesnordeste paulista**. 1975. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1975.

CONTI, J. B. **Desertificação nos trópicos: proposta de metodologia de estudo aplicada ao nordeste brasileiro**. 1995. Livre Docência. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

CONTI, J. B. **Clima e meio ambiente**. São Paulo: Atual, 1998.

COSCARELLI, R.; CALOIERO, T. Analysis of daily and monthly rainfall concentration in Southern Italy (Calabria region). Journal of Hydrology. v. 416-417, p. 145-156, 2012.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. Degradação Ambiental. In. **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p 337-376, 1996.

DIAS, M. A. F. S.; ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. T. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. de A. et al. **Tempo e Clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

DIAS, M. A. F. S.; SILVA, M. G. A. J. Para entender Tempo e Clima. In: CAVALCANTI, I. F. de A. et al. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro, 1999.

FERREIRA, A. G. **Meteorologia prática**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

FIERS, M. de S. M. **As abordagens sistêmica e do equilíbrio dinâmico na análise da fragilidade ambiental do litoral do Estado de São Paulo: contribuição à geomorfologia**

das planícies costeiras. 2008. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

GALVANI, E. Estatística descritiva em sala de aula. In: VENTURI, L. A. B. **Geografia:** Práticas de campo, laboratório e sala de aula. São Paulo: Editora Sarandi, 2011.
GRIMM, A. M. Variabilidade interanual do clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. de A. et al. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

HESÍODO. **Teogonia: a origem dos deuses**. São Paulo: Iluminuras, 1991.

HOUGTON, H. G. On the annual heat balance of Northern hemisphere. **Journal of Meteorology**, 1954.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ. **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, 1978.

KODAMA, Y. Large-scale common features of Subtropical Precipitation Zones (the Baiu Frontal Zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of Subtropical Frontal Zones. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 70, p.813-836, 1992.

KÖPPEN, W. **Climatologia: com un estúdio de los climas de la tierra**. México. Ed. Fondo de Cultura Econômica, 1948.

KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I. F. A. Eventos El-Niño Oscilação Sul: características, evolução e anomalias de precipitação. **Ciência e Cultura.** São Paulo, v. 36, n. 11, p.1188-1199, 1984.

KOUSKY, V.E.; CAVALCANTI, I. F.A. Frentes frias sobre o Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MAACK. R. **Geografia física do estado do Paraná**. 2 ed. Rio de Janeiro: Livraria José Olympio Editora, 1981.

MADDOX, R. A. Mesoscale convective complexes. **Bulletin of the American Meteorological Society**. v. 61, p. 1374-1387, 1980.

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

MOLLE, F. River-basin planning and management: The social life of a concept. **Geoforum**. v. 40, p. 484-494, 2009.

MONTEIRO, C. A. F. Clima. In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geografia do Brasil:** Grande Região Sul. Rio de Janeiro, v.4, n.18,Tomo I, 1968, p.114-166.

MONTEIRO, C. A. F. **A frente polar atlântica e as chuvas de inverno na fachada Sul-oriental do Brasil: Contribuição metodológica à análise rítmica dos tipos de tempo no Brasil**. 1969. Tese. (Doutorado em Geografia), Universidade de São Paulo, São Paulo, 1969.

MONTEIRO, C. A. F. **O nível de resolução para a análise da paisagem sob o enfoque de organização sistêmica.** Material didático, 1974.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistema*:* a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2001.

NERY, J. T.; MARTINS, M. L. O. F.; SANT'ANA NETO, J. L. Variabilidade da precipitação no Brasil meridional. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 24, n. 6, p. 1687-1695, 2002.

NERY, J. T. Dinâmica climática da região sul do Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**. São Paulo, v.1, n. 1. 2005.

NIMER. E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

NINOMYIA, K. Characteristcs of Baiu front as a predominant subtropical front in the Summer northern hemisphere. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 62, p. 880-894, 1984.

NOGAROLLI, M. **Evolução climática do estado do Paraná: 1970-1999**. 2007. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

NUNES, L. H. ; KOGA-VICENTE, A. ; CANDIDO, D. H. Clima da Região Sudeste do Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A. et al. **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

OLIVEIRA, A. S. **Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção da Amazônia**. 1986. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981.

PELEGATTI, C. H. G.; GALVANI, E. Avaliação da precipitação na Serra do Mar-SP em eventos de diferentes intensidades e duração. **GEOUSP-Espaço e Tempo**. São Paulo, n. 27, p. 147-158, 2010.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002.

PINTO, H. S.; ALFONSI, R. R. Estimativa das temperaturas médias,máximas e mínimas mensais no estado do Paraná, em função de altitude e latitude. **Caderno de Ciências da Terra**, São Paulo, 1974.

RAMPAZZO, L. **Metodologia cientifica**. São Paulo: Edições Loyola, 2002.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas fundamentais para o estudo de bacias hidrográficas. In: VENTURI, L. A. B. **Praticando Geografia:** técnicas de campo e laboratório em geografia e análise ambiental. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

RODRIGUES, C.; ADAMI, S. Técnicas de hidrografia. In: VENTURI, L. A. B. **Geografia:** Práticas de campo, laboratório e sala de aula. São Paulo: Sarandi, 2011.

ROLIM, G. S., SENTELHAS, P. C., BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL TM para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 6, n.1, p. 133-137, 1998.

ROSS, J. L. S.; DEL PRETTE, M. E. Recursos hídricos e as bacias hidrográficas: âncoras do planejamento e gestão ambiental. **Revista do Departamento de Geografia**. n. 12, p. 89-121, 1998.

SANT'ANNA NETO, J. L. **As chuvas no Estado de São Paulo**. 1995. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

SANT'ANNA NETO, J. L. Da Climatologia geográfica à Geografia do clima: Gênese, paradigmas e aplicações do clima como fenômeno geográfico. **Revista da ANPEGE**, v. 4, p. 61 - 88, 2008.

SANTOS, M. J. Z. Mudanças climáticas e o planejamento agrícola. In: SANT'ANNA NETO, J. L.; ZAVATINI, J. A. **Variabilidade e mudanças climáticas:** implicações ambientais e socioeconômicas. Maringá: Eduem, 2000.

SETZER, J. A distribuição normal das chuvas no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Geografia**. n 1, 1946.

SILVEIRA, A. L. L. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia:** Ciência e aplicação. Porto Alegre: Ed da Universidade – UFRGS, ABRH, 2001.

SORRE, M. **Les Fondements de la Géographie Humaine**. Paris: Armand Colin, 1951.

SOTCHAVA, V. B. **O estudo de geossistemas**. São Paulo: Ed. Lunar, 1977.

SOUSA, M. B.; MARIANO, Z. F. Geografia Física e a questão ambiental no Brasil. **GEOUSP-Espaço e Tempo**. São Paulo, n. 23, p. 77 - 98, 2008.

STRETEN, N. A. Some characteristics of satellite observed bands of persistent cloudiness over the Southern Hemisphere. **Montly Weather Review**, v. 101, p. 486-495, 1973.

THORNTWAITE, C.W; MATHER, J.R. **The water balance climatology**. Centeton, , v.8, nº 1, p.1-86, 1955.

TUCCI, C. E. M.; BEALTRAME, L. F. S. Evaporação e Evapotranspiração. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: Ciência e aplicação**. Porto Alegre: Ed. da Universidade – UFRGS, ABRH, 2001.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e uso do solo sobre os recursos hídricos**. Agência Nacional de Águas. Brasília, 2002.

TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia**. Recife: Versão digital 2, 2006.

VELASCO, I.; FRITSCH, J. M. Mesoscale convectives complexes in the Americas. **Journal of Geophysical Research**. v. 92, p. 9591-9613, 1987.

WEYKAMP, F. V. **Eventos extremos de precipitação no sul/sudeste da América do Sul associados a jatos de baixos níveis**. 2006. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

WOLLMANN, C. A. **Zoneamento agroclimático para a produção de roseiras (Rosaceae spp.) no Rio Grande do Sul**. 2011. Tese (Doutorado em Geografia Física) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **Guia de Practicas Hidrológicas: Aquisicion y Proceso de Dados**. 4 ed. n 168, Genebra, 1984.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION**. Guide to Hydrological Practices, Data Acquisition and Processing, Analysis, forecasting and other Applications**. 5 ed. n 168, Geneva: 1994, p259.

YASUNARI, T. Stationary waves in Southern Hemisphere mid-latitude zone revealed from average brightness charts**. Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 55, p.274-285, 1977.

ZAAR, M. H. A migração rural no oeste paranaense-Brasil: A trajetória dos “brasiguaios”. **Scripta Nova - Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales**. Barcelona, n. 94 (88), 2001

ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L.; ABREU, N. J. A. Análise das precipitações diárias intensas e impactos gerados em Fortaleza, CE. **GEOUSP -Espaço e Tempo**. São Paulo, n. 25, p. 53 - 68, 2009.

ZAVOIANU, I. **Morphometry of drainage basins**. Amsterdam: Elsevier, 1985.