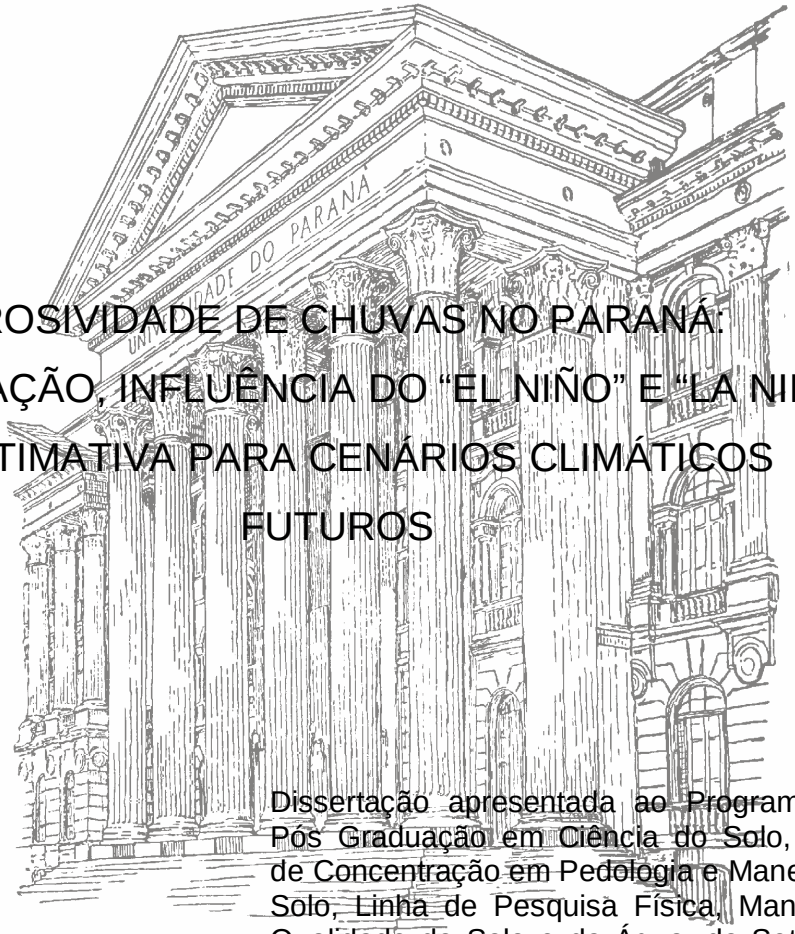
PAULO CESAR WALTRICK



EROSIVIDADE DE CHUVAS NO PARANÁ: ATUALIZAÇÃO, INFLUÊNCIA DO "EL NIÑO" E "LA NIÑA" E ESTIMATIVA PARA CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Pedologia e Manejo do Solo, Linha de Pesquisa Física, Manejo e Qualidade do Solo e da Água, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow
Co-Orientador: Prof. M.Sc. Marco Aurélio de Mello Machado.

CURITIBA

2010

PAULO CESAR WALTRICK

EROSIVIDADE DE CHUVAS NO PARANÁ: ATUALIZAÇÃO, INFLUÊNCIA DO “EL NIÑO” E “LA NIÑA” E ESTIMATIVA PARA CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, Área de Concentração em Pedologia e Manejo do Solo, Linha de Pesquisa Física, Manejo e Qualidade do Solo e da Água, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo.

Orientador: Prof. Dr.Jeferson Dieckow
Co-Orientador: Prof. M.Sc. Marco Aurélio de Mello Machado.

CURITIBA

2010

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE SOLOS E ENGENHARIA AGRÍCOLA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO(MESTRADO)
Rua dos Funcionários, 1540-Curitiba/PR-80035-050-Fone/Fax 41-3350-5648
Página: www.pgcisolo.agrarias.ufpr.br/
E-mail: pgcisolo@ufpr.br

PARECER

Os Membros da Comissão Examinadora, designados pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, para realizar a argüição da Dissertação de Mestrado, apresentada pelo candidato **PAULO CÉSAR WALTRICK,** sob o título: **"Erosividade de chuvas no Paraná: atualização, influência do *El Niño* e *La Niña* e estimativa para cenários climáticos futuros"**, requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Ciência do Solo – Área de Concentração: Pedologia e Manejo do Solo, do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, após haverem analisado o referido trabalho e argüido o candidato, são de Parecer pela **"APROVAÇÃO"** da Dissertação, completando assim, os requisitos necessários para receber o diploma de **Mestre em Ciência do Solo - Área de Concentração: "Pedologia e Manejo do Solo".**

Secretaria do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, em Curitiba, 20 de abril de 2010.

Prof. Dr. Jeferson Dieckow, Presidente.

Profa. Dra. Alice Marlene Grimm, Iª. Examinadora.

Dr. David Mendes, II°. Examinador.

Prof. MSc. Marco Aurélio de Mello Machado, III°. Examinador.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ Setor de Ciências Agrárias Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo Departamento de Solos e Engenharia Agrícola

Dedico este trabalho à minha esposa,

Josiane Cristina Nogueira Waltrick,

aos meus pais, ***Antonio I. Waltrick e Eni T. Azzi***

que compreenderam os momentos de ausência.

AGRADECIMENTOS

A Deus que sempre me dá força para vencer os obstáculos e dificuldades que se apresentaram no meu caminho.

A minha esposa Josiane Cristina Nogueira Waltrick, e aos meus pais Antônio Itamar Waltrick e Eni Terezinha Azzi, pela compreensão nos momentos de ausência.

A minha irmã Francieli Waltrick e aos meus amigos e familiares o meu especial obrigado.

Ao meu orientador professor Jeferson Dieckow, que acreditou no meu projeto.

Em especial ao meu co-orientador pelas dicas e ajuda no desenvolvimento da pesquisa e acesso aos dados.

Ao professor Valmiqui Costa Lima por indicar o “caminho das pedras” e pelo incentivo.

Aos alunos de iniciação científica Leandro Pontarollo e Thiago Vinicius Reiter que ajudaram nas cópias dos pluviogramas.

Ao aluno Eder David Borges da Silva, que ajudou na construção dos mapas.

Ao IAPAR e aos pesquisadores Rui Carlos Maranhão Biscaia, Paulo Henrique Caramori, João Henrique Claviglione e em especial a pesquisadora Dalziza de Oliveira, que disponibilizaram os dados pluviográficos da pesquisa.

A SUDERSHA e ao Sr. Nilson Antônio de Morais, que disponibilizou os dados de pluviometria.

A Universidade Federal do Paraná e ao Programa de Pós Graduação em Ciência do Solo, seus professores e funcionários pelo conhecimento transmitido.

Aos colegas de mestrado pela amizade e colaboração durante esta empreitada. Em especial à colega Olinda Soares que proporcionou o primeiro contato com o Departamento de Solos da UFPR.

A todos que de algum modo colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

“Jamais considere seus estudos como uma obrigação, mas como uma oportunidade invejável para aprender a conhecer a influência libertadora da beleza do reino do espírito, para seu próprio prazer pessoal e para proveito da comunidade à qual seu futuro trabalho pertencer.”

Albert Einstein

EROSIVIDADE DE CHUVAS NO PARANÁ: ATUALIZAÇÃO, INFLUÊNCIA DO “EL NIÑO” E “LA NIÑA” E ESTIMATIVA PARA CENÁRIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Autor: Paulo Cesar Waltrick
Orientador: Prof. Dr. Jeferson Dieckow
Co-Orientador: Prof. M.Sc. Marco Aurélio de Mello Machado

RESUMO: A erosão hídrica é uma das principais causas de perdas de solo na maioria das regiões do planeta. Nas regiões tropicais e subtropicais estas perdas são maiores, devido a elevada erosividade das chuvas. O objetivo desse trabalho foi estimar a erosividade das chuvas para o estado do Paraná, avaliando a influência dos eventos climáticos El Niño e La Niña, bem como estimar a erosividade para cenários futuros relacionados com projeções de mudanças climáticas. A erosividade das chuvas foi estimada utilizando-se métodos pluviográficos e pluviométricos. A influência dos fenômenos El Niño e La Niña, foram determinados, separando-os em períodos: Geral, Neutro, El Niño e La Niña. A erosividade das chuvas, para os cenários climáticos futuros, foram estimados utilizando-se as precipitações projetadas para o período de 2070 a 2099, para os cenários A2 e B2 pelo modelo HadRM3P, que compõe o sistema integrado PRECIS. A erosividade das chuvas no estado do Paraná apresentaram valores elevados principalmente nas regiões sudoeste e litorânea. Em períodos de ocorrência do evento El Niño a erosividade aumenta e nos períodos de La Niña diminui, sendo estas alterações significativas, principalmente, no mês de novembro. As estimativas feitas para a erosividade média considerando os cenários futuros de mudanças climáticas, indicam aumento significativo no verão e redução no inverno.

Palavras chave: EI_{30}, ENOS, modelo climático regional

RAINFALL EROSIVITY IN PARANÁ: UPDATE, INFLUENCE OF "EL NIÑO" AND "LA NIÑA" AND ESTIMATE FOR FUTURE CLIMATE SCENARIOS

Author: Paulo Cesar Waltrick
Advisor: Prof. Dr. Jeferson Dieckow
Co-Advisor: Prof. M.Sc. Marco Aurélio de Mello Machado

ABSTRACT: Water erosion is the major cause of soil losses in many regions of the world. These losses are greater in tropical and subtropical regions due to high rainfall erosivity. The aim of this study was to estimate rainfall erosivity for Paraná state, assessing the influence of climatic events El Niño and La Niña and also estimate erosivity for future scenarios related to projected climate change. Rainfall erosivity was estimated by using several sources of rainfall datasets. The influences of El Niño and La Niña events were determined by separating them into periods: Overall, Neutral years, and El Niño and La Niña years. The rainfall erosivity for the future climate scenarios was estimated by using the projected rainfall for the 2070-2099 period, from A2 and B2 scenarios runned in HadRM3P model, which comprises the integrated PRECIS system. The rainfall erosivity in Parana state was higher specially in southwest and coast areas. Erosivity is higher during El Niño and lower during La Niña periods, compared to neutral or overall years. This is particularly true in November. The estimates considering future scenarios of climate change indicate a significant increase of erosivity in summer and decrease in winter.

Key words: EI_{30}, ENSO, regional climate model

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS 114 ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NO PRESENTE ESTUDO..... 24

FIGURA 1.2 – GRÁFICO DA CORRELAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS PLUVIOGRÁFICO E PLUVIOMÉTRICO UTILIZANDO AS EQUAÇÕES LINEARES PROPOSTAS POR RUFINO et al. (1993), PARA DADOS DO PERÍODO DE 1986 A 2008..... 35

FIGURA 1.3 – DISTRIBUIÇÃO MÉDIA MENSAL DA EROSIVIDADE CONSIDERANDO AS 114 LOCALIDADES PARA O PERÍODO DE 1986 A 2008..... 38

FIGURA 1.4 – MAPA ISOERODENTE DO ESTADO DO PARANÁ. ESTIMATIVA ATUALIZADA COM DADOS DE 1986 A 2008, VALORES MÉDIOS ANUAIS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}..... 40

FIGURA 1.5 – ESTIMATIVA DA EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL DAS CHUVAS PARA O ESTADO DO PARANÁ PARA OS MESES DE JANEIRO, FEVEREIRO, MARÇO, ABRIL, MAIO E JUNHO, VALORES MÉDIOS MENSAIS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$..... 41

FIGURA 1.6 – ESTIMATIVA DA EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL DAS CHUVAS PARA O ESTADO DO PARANÁ PARA OS MESES DE JULHO, AGOSTO, SETEMBRO, OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO, VALORES MÉDIOS MENSAIS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$.... 42

FIGURA 2.1 – ILUSTRAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS OCEÂNICA E ATMOSFÉRICA EM CONDIÇÃO NORMAL (a), CONDIÇÃO DE EL NIÑO (b), E CONDIÇÃO DE LA NIÑA (c)..... 49

FIGURA 2.2 – GRÁFICOS TIPO BOX COM OS PERCENTIS DE LOCALIDADES E A RESPECTIVA EROSIVIDADE PARA OS PERÍODOS: GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA, PARA OS MESES DE JANEIRO, FEVEREIRO, MARÇO, ABRIL, MAIO E JUNHO..... 60

FIGURA 2.3 – GRÁFICOS TIPO BOX COM OS PERCENTIS DE LOCALIDADES E A RESPECTIVA EROSIVIDADE PARA OS PERÍODOS: GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA, PARA OS MESES DE JULHO, AGOSTO, SETEMBRO, OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO..... 61

FIGURA 2.4 – MAPAS ISOERODENTES PARA O MÊS DE NOVEMBRO EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ PARA OS PERÍODOS: GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA, ESTIMADOS COM DADOS DE 1979 A 2008..... 66

FIGURA 2.5 – ANOMALIAS (%) MÉDIA MENSAL DURANTE EVENTOS DE EN NIÑO E LA NIÑA PARA O MÊS DE NOVEMBRO ESTIMADOS COM DADOS DE 1979 A 2008..... 67

FIGURA 3.1 – GRÁFICOS TIPO BOX, COM OS PERCENTIS DE LOCALIDADES E A RESPECTIVA EROSIVIDADE TOTAL ANUAL, MÉDIA DOS MESES DE INVERNO (JJA) E MÉDIA DOS MESES DE VERÃO (DJF), PARA O PERÍODO CLIMATOLÓGICO DE 1961 A 1990 E OS CENÁRIOS FUTUROS A2 E B2. OS GRÁFICOS CORRESPONDEM AOS DADOS DE 24 LOCALIDADES DESCRITAS NA TABELA 3.2..... 82

FIGURA 3.2 – MAPAS ISOERODENTES REPRESENTANDO A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA EROSIVIDADE ANUAL ESTIMADA EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, CONSIDERANDO OS CENÁRIOS FUTUROS A2 E B2..... 84

FIGURA 3.3 – MAPAS COMPARATIVOS DAS EROSIVIDADES MENSAIS ESTIMADAS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ CONSIDERANDO OS CENÁRIOS FUTUROS A2 (LADO ESQUERDO) E B2 (LADO DIREITO), PARA OS MESES DE JANEIRO, FEVEREIRO E MARÇO..... 86

FIGURA 3.4 – MAPAS COMPARATIVOS DAS EROSIVIDADES MENSAIS ESTIMADAS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ CONSIDERANDO OS CENÁRIOS FUTUROS A2 (LADO ESQUERDO) E B2 (LADO DIREITO), PARA OS MESES DE ABRIL, MAIO E JUNHO..... 87

FIGURA 3.5 – MAPAS COMPARATIVOS DAS EROSIVIDADES MENSAIS ESTIMADAS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ CONSIDERANDO OS CENÁRIOS FUTUROS A2 (LADO ESQUERDO) E B2 (LADO DIREITO), PARA OS MESES DE JULHO, AGOSTO E SETEMBRO..... 88

FIGURA 3.6 – MAPAS COMPARATIVOS DAS EROSIVIDADES MENSAIS ESTIMADAS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ CONSIDERANDO OS CENÁRIOS FUTUROS A2 (LADO ESQUERDO) E B2 (LADO DIREITO), PARA OS MESES DE OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO..... 89

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 1..... 27

TABELA 1.2 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 2 28

TABELA 1.3- EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 3 28

TABELA 1.4 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 4 28

TABELA 1.5 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 5 28

TABELA 1.6 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 6 29

TABELA 1.7 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 7 29

TABELA 1.8 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 8 29

TABELA 1.9 – DIFERENÇA NA PRECIPITAÇÃO E NA EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O PERÍODO 1972-1989, RUFINO et al. (1993) E O PRESENTE ESTUDO PERÍODO 1986-2008 32

TABELA 1.10 – RESULTADOS PARA A EROSIVIDADE DAS CHUVAS EM TRÊS LOCALIDADES UTILIZANDO MÉTODOS PLUVIOGRÁFICOS E PLUVIOMÉTRICOS..... 33

TABELA 1.11 – EROSIVIDADES MÉDIAS MENSAIS E ANUAIS (R), ESTIMADA POR PLUVIOMETRIA PARA 114 LOCALIDADES DO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE 1986 A 2008 36

TABELA 2.1 – DEFINIÇÃO DOS PERÍODOS NEUTRO (N), EL NIÑO (EN) E LA NIÑA (LN)..... 54

TABELA 2.2 – RESULTADOS DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL DAS CHUVAS PARA AS 114 LOCALIDADES SELECIONADAS, SEPARADA EM PERÍODOS: GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA..... 56

TABELA 2.3 – RESULTADO DA EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL ESTIMADA PARA O MÊS DE NOVEMBRO, PARA OS PERÍODOS GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA E A ANOMALIA ENTRE O PERÍODO GERAL E OS PERÍODOS EL NIÑO E LA NIÑA EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ E EM (%). ESTIMATIVA COM DADOS DE 114 ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DE 1979 A 2008..... 62

TABELA 3.1 – PROJEÇÃO DO AUMENTO MÉDIO DA TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE DO PLANETA E A ELEVAÇÃO MÉDIA DO NÍVEL DO MAR PARA O PERÍODO DE 2090 A 2099 EM COMPARAÇÃO COM O PERÍODO DE 1980 A 1999..... 74

TABELA 3.2 – LOCALIDADES SELECIONADAS POR ESTAREM DENTRO DO ESTADO DO PARANÁ, ÁREA DE INTERESSE DO PRESENTE ESTUDO..... 76

TABELA 3.3 – PRECIPITAÇÃO MÉDIA OBSERVADA (Obs) NO PERÍODO DE 1961 A 1990, PRECIPITAÇÃO MÉDIA ESTIMADA PELO MCR (Mod) PARA O PERÍODO DE 1961 A 1990, PRECIPITAÇÃO MÉDIA PROJETADA PELO MCR PARA OS CENÁRIOS A2 E B2 PARA O PERÍODO DE 2070 A 2099 E A EROSIVIDADE ESTIMADA CONSIDERANDO ESTES PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO..... 78

TABELA 3.4 – PARÂMETROS DESCRITIVOS DA EROSIVIDADE, ESTIMADOS PARA 24 LOCALIDADES DO ESTADO DO PARANÁ, CONSIDERANDO OS CENÁRIOS: (Obs), (Mod), (A2) E (B2). DIVIDIDOS EM TRÊS PERÍODOS: ANUAL, INVERNO (JJA) E VERÃO (DJF)..... 80

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL..... 14

CAPÍTULO 1 - Atualização da erosividade das chuvas para o estado do Paraná (1986 – 2008) 19

Introdução 19

Material e métodos 22

Resultados e discussão 31

Conclusões 43

Literatura citada 44

CAPÍTULO 2 - A influência dos fenômenos climáticos El Niño e La Niña na estimativa da erosividade das chuvas para o estado do Paraná..... 48

Introdução 48

Material e métodos 52

Resultados e discussão 55

Conclusões 68

Literatura citada 69

CAPÍTULO 3 Projeção da erosividade das chuvas no estado do Paraná, considerada sob cenários de mudanças climáticas 71

Introdução 71

Material e métodos 75

Resultados e discussão 77

Conclusões 90

Literatura citada 91

CONCLUSÃO GERAL 93

APÊNDICE 94

INTRODUÇÃO GERAL

O solo é um dos recursos naturais mais significativos para a humanidade, mas devido à degradação causada em séculos de exploração sem a utilização de técnicas de conservação e manejo adequadas, em muitas regiões as perdas de solo por ano são superiores à capacidade deste em se regenerar, indicando um cenário preocupante para a produção de alimentos que na sua grande maioria depende do solo para o seu desenvolvimento. Mesmo em regiões onde as taxas de perdas de solo são menores que a taxa de recuperação, é necessária a utilização de práticas conservacionistas e técnicas de manejo adequadas, pois geralmente o solo perdido acaba se depositando nos leitos dos rios causando assoreamentos e contaminando os corpos d'água com a alta concentração de nutrientes oriundos dos processos de fertilização (BERTOL et al.,2004). O principal agente causador das perdas de solo é a erosão hídrica. Assim, o conhecimento e a quantificação dos fatores que a influenciam são fundamentais para o planejamento de uso e manejo do solo em bases conservacionistas em uma região (CARVALHO et al., 2005). Os principais fatores que determinam a maior ou menor perda de solo por erosão hídrica são a erosividade (chuva), a erodibilidade (características intrínsecas do solo), a topografia, o uso e manejo, e as práticas conservacionistas. Dentre estes, a erosividade das chuvas é um dos mais importantes, pois o impacto das gotas de chuva sobre o solo causam a desagregação de partículas e o selamento superficial, reduzindo a taxa de infiltração de água e aumentando o escoamento superficial. As variações climáticas são uns dos principais fatores que influenciam na capacidade das chuvas em causar erosão. Portanto, informações mais seguras permitem definir as técnicas de manejo e as práticas conservacionistas mais adequadas para cada região (BAZZANO et al., 2007).

A predição de perda de solo por erosão hídrica é um dado importante para a elaboração de um plano de cultivo conservacionista ou para a recuperação de áreas degradadas (COGO et al., 2003).

Os eventos extremos de precipitação ocorrem com maior frequência em períodos de El Niño e La Nina, em várias regiões da América do Sul, inclusive na região Sul do Brasil. Além disso, a quantidade de precipitação durante eventos extremos é também significativamente alterada em determinadas regiões. Na maioria das vezes, estes eventos extremos ocorrem na estação chuvosa, o que torna o impacto mais forte, pois pode chover muito acima do esperado ou muito abaixo do esperado (GRIMM & TEDESCHI, 2009).

Os fenômenos climáticos El Niño e La Niña têm causado desastres naturais devido ao excesso de chuvas ou falta delas, assim como alterações nas temperaturas médias em determinadas regiões do planeta. Estima-se que o episódio de 1982/1983, causou prejuízos da ordem de 13 bilhões de dólares, devidos principalmente às secas e enchentes (OLIVEIRA, 1999). Em períodos de El Niño as regiões Norte e Nordeste do Brasil são afetadas por secas devido às precipitações abaixo da média principalmente entre os meses de fevereiro a maio. Na região Sul o fenômeno causa chuvas intensas com precipitação acima da média principalmente na primavera (GRIMM, 2003). As outras regiões do país sofrem alterações moderadas na média de seus regimes pluviométricos. Em períodos de La Niña ocorre o inverso, as regiões Norte e Nordeste do Brasil têm um aumento nas precipitações médias, enquanto que a região Sul sofre com as secas (ROPELEWSKI & HALPERT, 1987).

O estado do Paraná encontra-se em uma localização limítrofe de influência mais significativa destes fenômenos e tem seu regime hídrico alterado principalmente em eventos considerados fortes (GRIMM et al., 1998). Estas alterações, acabam influenciando na estimativa da erosividade das chuvas. Daí a importância de se considerar estes fenômenos separadamente (SANTOS, 2008; PAULA, 2009). Separando os períodos de El Niño, La Niña e neutros é possível identificar extremos de erosividade que de outra forma ficam minimizados na média geral anual.

A atividade humana tem aumentado significativamente a concentração na atmosfera dos gases CO_2, N_2O e CH_4, principais responsáveis pelo efeito estufa, causando um desequilíbrio na quantidade de energia que entra e sai da atmosfera. O aumento da temperatura média global é uma forma de

compensar este desequilíbrio (IPCC, 2007). Pequenas alterações na temperatura média global podem causar grandes perturbações como: aumento do nível do mar, fortes e frequentes tempestades de chuva e neve, enchentes e secas mais intensas (MARENGO, 2001). Estas perturbações e alterações no clima do planeta estão sendo chamadas de mudanças climáticas. Com o objetivo de projetar o clima para as próximas décadas, vários modelos foram desenvolvidos por renomadas instituições de pesquisa. Estes modelos têm como base os cenários futuros de desenvolvimento tecnológico, social e econômico, publicados pelo IPCC no SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*). Considerando os diversos modelos, as mudanças projetadas variam de uma região para outra, porém em muitas áreas do globo terrestre, como a região Sul do Brasil, mais de 90% dos modelos existentes concordam que haverá um aumento na precipitação e na intensidade das chuvas. Pesquisas têm mostrado uma tendência de aumento nas precipitações na região nas últimas décadas (ALEXANDER et al., 2006).

Segundo NUÑEZ et al., (2008), as projeções de clima futuro mostram que além do aumento na precipitação, estas serão mais intensas. É portanto, relevante estimar a erosividade das chuvas projetadas para os cenários futuros, de forma que possam ser definidas técnicas de manejo do solo e práticas conservacionistas mais adequadas a estes cenários.

Neste sentido, o objetivo geral deste trabalho foi de estimar a erosividade das chuvas para o estado do Paraná, para o período atual, em períodos de El Niño e La Niña e para cenários futuros de mudanças climáticas.

A estrutura dessa dissertação será composta por três capítulos, cada qual seguindo a formatação de um artigo científico com introdução, material e métodos, resultados e discussão, conclusão e referências citadas. O primeiro capítulo será sobre a estimativa da erosividade atual das chuvas para o estado Paraná, o segundo sobre a erosividade das chuvas em períodos de El Niño e La Niña em comparação com a média dos anos neutros e o terceiro sobre a estimativa da erosividade das chuvas projetadas para cenários futuros de mudanças climáticas.

LITERATURA CITADA

ALEXANDER, L. V., et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research**. v.111, D05109, doi:10.1029/2005JD006290, 2006.

BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p.1205-1217, 2007.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J.C.; RITTER, S.R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II Perdas de nutrientes e carbono e orgânico. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.28, p.1045-1054, 2004.

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E. M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p.7-14, 2005.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.743-753, 2003.

GRIMM, A. M. & TEDESCHI, R. G. ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. **Journal of Climate**, v.22, p.1589-1609, 2009.

GRIMM, A.M. The El Niño impact on summer monsoon in Brazil: Regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, v.16, p. 263-280, 2003.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v.11, p.2863-2880, 1998.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policy Makers**. IPCC Geneva, 2007.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas Globais e Regionais: Avaliação do Clima Atual do Brasil e Projeções de Cenários Climáticos do Futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.16 p.01-18, 2001.

NUÑEZ, M.; SOLMAN, S.; CABRÉ, S. Regional climate change experiments over southern South America. II: climate change scenarios in the late twenty first Century. **Climate Dynamics**, DOI: 10.1007/s00382-008-0449-8, 2008.

OLIVEIRA, G. S. **O El Niño e Você: O Fenômeno Climático**. TRANSTEC, 116p, 1999.

PAULA, G. M. **O Fenômeno El Niño Oscilação Sul e a Erosividade das Chuvas em Santa Maria-RS**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 53p. 2009.

ROPELEWSKI, C.F. & HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño Southern Oscillation**. Monthly Weather Review**, v.115, p. 1606- 626, 1987.

SANTOS C. N. **El Niño e La Niña e a Erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pelotas, 138p. 2008.

CAPÍTULO 1 – ATUALIZAÇÃO DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O ESTADO DO PARANÁ (1986 – 2008)

INTRODUÇÃO

No sentido físico, a erosão do solo é considerada como uma força que atua sobre ele, provocando a movimentação de partículas e realizando um trabalho. Há duas formas de energias associadas à erosão: a energia cinética, relacionada com a massa das gotas de chuva e a velocidade com que estas atingem o solo, e a energia potencial relacionada com a massa de água, a aceleração da gravidade e a diferença de altura entre dois pontos do relevo por onde se desloca esta massa de água sob a forma de enxurrada. A enxurrada cresce com o aumento da intensidade e a duração da precipitação, assim como a turbulência, causando maior desagregação e transportando uma quantidade maior de solo.

A energia cinética da gota da chuva sobre o solo é o fator que dá início ao processo de erosão hídrica, pois causa a *desagregação* das partículas do solo. É a primeira e mais importante fase do processo erosivo, pois sem ela não ocorrem as outras duas fases: *transporte* do material desagregado, principalmente pelo movimento da enxurrada e *deposição*, terceira e última fase, que consiste na sedimentação das partículas desagregadas e transportadas.

Assim, a causa fundamental da erosão hídrica é a ação da gota da chuva sobre o solo, combinada com a enxurrada e a resistência do solo a esta ação. Ao efeito da chuva, dá-se o nome de erosividade e a resistência do solo a este processo de erodibilidade. A primeira é medida em (MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}) e a segunda em (t h MJ^{-1} mm^{-1}), sendo as unidades MJ (megajoule), mm (milímetro), ha (hectare), h (hora) e t (tonelada). A erosividade é influenciada pela forma, tamanho e distribuição das gotas. Estas, ao caírem estão suscetíveis à resistência do ar, que determina a sua velocidade terminal. A velocidade terminal das gotas e a duração da chuva estabelecem a intensidade e a quantidade total de chuva (COGO & BERTOL, 1998).

Nos países de clima temperado apenas 5% das chuvas anuais são consideradas erosivas, enquanto que em países de clima tropical este valor sobe para 40%. Por esta razão, a erosão hídrica é um problema mais grave em países de clima tropical e subtropical. Na região de Fortaleza - CE, quando estudadas particularmente as chuvas que ocorrem entre os meses de fevereiro a maio este percentual chega a 70%, indicando que a erosividade das chuvas é grande nestes quatro meses. Este também é o período de preparo do solo para o plantio, naquela região, favorecendo a erosão e causando grandes perdas de solo (DIAS & SILVA, 2003). Percentuais elevados de chuvas erosivas agrupados em apenas alguns meses do ano também são encontrados em outras localidades do país como Lavras - MG (SILVA et al.,2009) e Piraí - RJ (MACHADO et al.,2008).

A quantificação das perdas de solo por erosão hídrica tem como objetivo principal auxiliar na definição das técnicas de manejo e práticas conservacionistas adequadas para cada região, minimizando desta forma os prejuízos ambientais e econômicos. Dada sua importância, existe um grande número de pesquisas relacionadas com o assunto (ROQUE et al., 2001; COLODRO et al., 2002; BEUTLER et al., 2003; BERTOL et al., 2004, PROCHNOW et al., 2005; MOREIRA et al., 2008). A metodologia mais utilizada nestas pesquisas é a predição da taxa de perda de solo através da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS), também conhecida pela sigla em inglês como (USLE). A nomenclatura, Equação Universal, se deu pela possibilidade de ser aplicada em qualquer região. Fato este que só foi possível com inovações introduzidas que permitiram superar dificuldades ligadas a fatores climáticos e geográficos existentes nas primeiras equações (ALBUQUERQUE et al., 2005). A USLE proposta por WISCHMEIER & SMITH, (1978), é dada por: **A = R.K.L.S.C.P**. Esta equação engloba um conjunto de fatores naturais e antrópicos. Os fatores naturais são descritos pela erosividade da chuva (R), erodibilidade do solo (K), o comprimento da encosta (L) e a declividade da encosta (S). Os fatores antrópicos são descritos pelo uso e manejo do solo (C) e práticas conservacionistas (P), sendo (A) a variável dependente que expressa a taxa anual de perdas de solo (MELLO et al., 2006).

A caracterização do fator R da USLE requer cálculos de índices relacionados com a energia cinética das chuvas, a intensidade, e o total precipitado. Na metodologia original proposta por Wischmeier & Smith, era necessário somar a intensidade de cada aclive da curva do pluviograma que representa a chuva. Esta metodologia era muito trabalhosa. Com o objetivo de reduzir a morosidade dos cálculos, pesquisas foram realizadas e correlacionaram intensidades máximas em determinados intervalos de tempo com a erosividade total da chuva. Os valores subescritos representam estes intervalos de tempo em minutos. No Brasil pesquisas compararam os índices de erosividade EI_5, EI_{10}, EI_{15}, EI_{20}, EI_{25}, EI_{30}, EI_{35}, KE>10 e KE>25. O termo EI_t indica que a erosividade foi estimada considerando o intervalo de tempo subscrito em que a chuva foi mais intensa. Os termos KE>10 e KE>25, indicam que a erosividade foi estimada considerando apenas as chuvas com precipitação superior a 10 mm e 25 mm respectivamente. MORAIS et al. (1988) e CARVALHO et al. (1989) concluíram que o índice EI_{30} e o KE>25 apresentaram excelente grau de correlação com as perdas de solo para as localidades estudadas. Embora exista alta correlação dos índices KE>25 e EI_{30} com a erosividade das chuvas, este último tem sido mais utilizado para estimar o fator R da USLE. (MARTINS et al., 2003; RUFINO et al., 1993; COGO et al., 2003 BAZZANO et al., 2007; MELLO et al., 2007). O EI_{30} representa a erosividade de uma chuva, estimada a partir da sua intensidade máxima em 30 minutos. A soma dos EI_{30} de cada chuva ao longo do mês estima o EI_{30} mensal, a soma destes possibilitam estimar o EI_{30} anual. A média dos EI_{30} anuais ao longo de pelo menos 22 anos, representa o fator R da USLE. Estimar o EI_{30} exige dados pluviográficos, que nem sempre apresentam séries históricas longas para as diferentes localidades que se pretende estimar. LOMBARDI NETO (1977), estimou o índice de erosividade médio mensal no município de Campinas (SP), por meio de um coeficiente de chuva chamado por ele de Rc, utilizando, exclusivamente, registros pluviométricos. A partir deste coeficiente de chuva, o índice EI_{30} pode ser estimado através de uma equação de ajuste. Em diversos municípios e regiões do Brasil, essa correlação tem se mostrado altamente significativa, geralmente com elevados

coeficientes de determinação encontrados para outras equações de regressão específicas para os locais estudados, onde o Rc é a variável independente (SILVA & DIAS, 2003). Portanto, nas localidades que não possuem longas séries históricas de dados pluviográficos pode-se estimar o índice EI_{30} através de dados pluviométricos (RUFINO et al., 1993; MORETI et al., 2003; CARVALHO et al., 2005; GONÇALVES et al., 2006). Para isso, faz-se necessária à determinação do Rc, obtido a partir de dados de precipitação média mensal e precipitação média anual.

Portanto, o objetivo desse trabalho foi atualizar a erosividade das chuvas fator “R” da USLE, para o estado do Paraná, utilizando dados pluviométricos de 114 localidades para o período de 1986 a 2008.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização, caracterização da área de estudo e metodologia

O trabalho foi realizado para todo o estado do Paraná, que está localizado na Região Sul do Brasil, entre 22°29’30” e 26°43’00” de latitudes Sul e 48°05’37” e 54°37’08” de longitudes Oeste. Encontra-se em uma região de transição entre o clima tropical na porção norte do Estado, próximo a divisa com São Paulo e o subtropical que caracteriza a Região Sul do país. Segundo a classificação de Köppen, o clima do Paraná é divido em Af (tropical) sempre úmido, sem estação seca e isento de geadas, na planície litorânea; Cfa (subtropical) com verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas no verão nas Regiões Norte, Oeste e parte do Sudoeste; Cfb (temperado) com verões frescos, sem estação seca definida, entre o primeiro, segundo e parte do terceiro planaltos (INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTA, 1987).

Foram selecionadas 114 estações pluviométricas (FIGURA 1.1) que possuíam séries históricas completas no período de 1986 a 2008 (TABELAS 1.1 a 1.8).

O presente estudo utilizou o método pluviométrico para estimar a erosividade das chuvas. Porém este método necessita de equações de correlação obtidas a partir do método pluviográfico. RUFINO et al. (1993), utilizando o método pluviográfico, dividiu o estado do Paraná em oito regiões e definiu as equações de correlação necessárias para se estimar a erosividade pelo método pluviométrico. Estas equações foram utilizadas nesta pesquisa conforme TABELAS 1.1 a 1.8.

Determinação da erosividade por pluviografia

Com o objetivo de verificar se as equações lineares propostas por Rufino et al. (1993), continuavam válidas para o período deste estudo, foram escolhidas três localidades assistidas por pluviógrafos. Para estas três localidades a erosividade foi estimada por pluviografia e pluviometria, e então, através de regressão linear verificada a validade das equações para estas localidades.

As três localidades escolhidas foram selecionadas de acordo com o seguinte critério em relação a erosividade: a primeira por ter apresentado a maior alteração positiva, a segunda por ter apresentado a maior alteração negativa e a terceira por ter apresentado a menor alteração, quando comparados os valores obtidos por pluviometria para o período de 1986 a 2008, com os obtidos por pluviografia por Rufino et al. (1993), e que tivessem séries pluviográficas completas no período de 01/01/1986 a 31/12/2008.

O índice de erosividade EI_{30} foi obtido pela multiplicação de dois parâmetros específicos das precipitações erosivas de cada local: energia cinética total da chuva (E) e intensidade máxima em 30 min (I_{30}) EQUAÇÃO (1), tomando esses valores para todas as chuvas individuais erosivas que ocorrem em cada mês do ano, tem-se o EI_{30} mensal, cuja soma caracteriza o EI_{30} anual. A média anual desse índice determina na mais longa série histórica de dados de pluviografia disponível, o fator R do local em estudo (DIAS e SILVA, 2003).

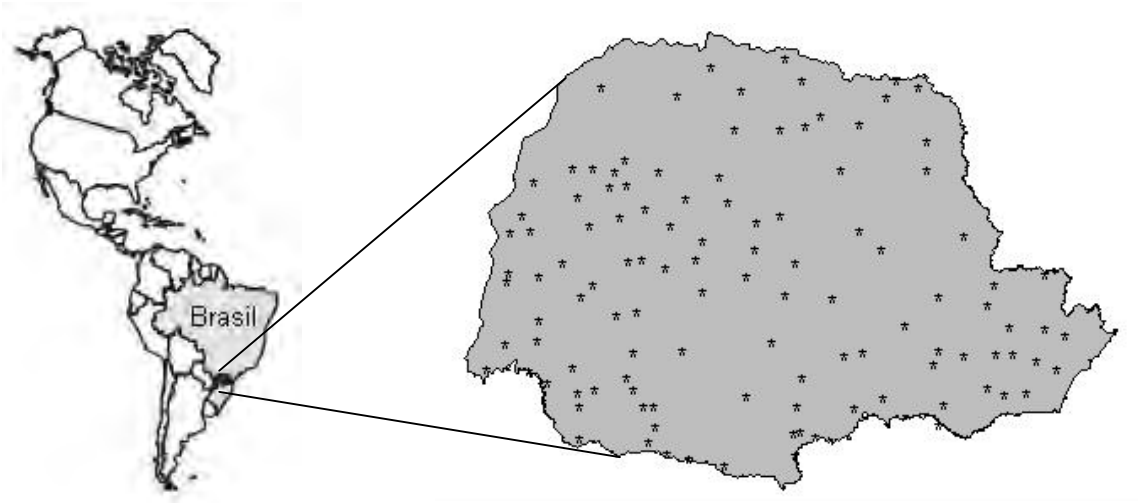


FIGURA 1.1 – LOCALIZAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS 114 ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS UTILIZADAS NO PRESENTE ESTUDO.

Foram utilizados dados de precipitação pluvial de 1986 a 2008, obtidos por pluviógrafos e pluviômetros de estações da rede meteorológica do Instituto Agronômico do Paraná (IAPAR), do Instituto Tecnológico SIMEPAR, e da Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental (SUDERHSA) para análise, sistematização e cálculo do índice de erosividade mensal e anual.

As chuvas foram consideradas independentes baseando-se nos critérios propostos por WISCHMEIER & SMITH (1965), modificado por CABEDA (1976), ou seja, as chuvas foram independentes quando estavam separadas uma da outra por no mínimo seis horas com precipitação inferior a 1 mm, e consideradas erosivas a partir de um volume total precipitado superior a 10 mm, ou quando foram iguais ou superiores a 6 mm, em um período máximo de 15 minutos.

Utilizando a equação proposta por CASTRO FILHO et al. (1982), o índice erosivo das chuvas (EI_{30}) pode ser expresso por:

$$EI_{30} = EC \text{ x } I_{30} \text{ x } 10^{-3} \qquad (1)$$

onde: EI_{30} é o índice erosivo da chuva em (MJ mm ha^{-1} h^{-1}), sendo MJ (megajoule), mm (milímetro), ha (hectare) e h (hora); EC é a energia cinética

total da chuva por unidade de área em (t m ha^{-1}), sendo t (tonelada), m (metro), ha (hectare); e I_{30} determinado pela leitura do pluviograma, é a intensidade máxima da chuva em 30 minutos multiplicado por dois, resultando na unidade (mm h^{-1}), sendo mm (milímetro) e h (hora).

A equação original proposta por WISCHMEIER & SMITH (1958), para cálculo da energia cinética de uma chuva é, em unidades métricas:

$$EC = \sum_{i=1}^{n} \left(12{,}142 + 8{,}877 \log I_i\right) \qquad (2)$$

na qual: EC conforme definido anteriormente, n é o número de aclives uniformes de precipitação de que se compõe uma chuva, e I_i é a intensidade de chuva no aclive uniforme i, em (mm h^{-1}).

WILKINSON (1975), após estudar as características das chuvas em Ifê, na Nigéria, propôs estimar a energia cinética total de uma chuva, através de uma modificação na equação de Wischmeier, dada por:

$$EC_1 = \left(12{,}142 + 8{,}877 \log I_{30}\right) P \qquad (3)$$

onde: EC_1 é a energia cinética total (t m ha^{-1} mm), I_{30} é a intensidade máxima da chuva em 30 minutos, multiplicado por dois em (mm h^{-1}), e P é a precipitação total da chuva em (mm).

CASTRO FILHO et al. (1982), encontraram altas correlações entre as energias cinéticas obtidas pelos métodos de Wischmeier e Wilkinson para cinco localidades do estado do Paraná. A equação geral ajustada para o cálculo da energia cinética total de uma chuva, para os cinco locais estudados e abrangências das regiões de influência dos mesmos, foi a seguinte:

$$EC = 28{,}814 + 0{,}8895 x EC_1 \qquad (4)$$

onde: EC é a energia obtida através do método de Wischmeier, e EC_1 é a energia obtida pelo método de Wilkinson. Substituindo-se a equação (3) em (4), tem-se:

$$EC = 28{,}814 + (10{,}800 + 7{,}896 \log I_{30})P \qquad (5)$$

Substituindo (5) em (1), a equação geral para cálculo do índice de erosividade das chuvas (EI_{30}), para os cinco locais estudados por CASTRO FILHO et al. (1982) e regiões de influência, é escrita da seguinte maneira:

$$EI_{30} = [28{,}814 + (10{,}800 + 7{,}896 \log I_{30})]P \text{ x } I_{30} \text{ x } 10^{-3} \qquad (6)$$

Utilizando-se esta última equação convertida para o Sistema Universal de Unidades (FOSTER et al., 1981), calculou-se pela soma dos EI_{30} de cada chuva erosiva, o EI_{30} mensal, e a soma dos EI_{30} mensais ao longo de cada ano da série, o EI_{30} anual. A média dos EI_{30} anuais para o período de 1986 a 2008, representa o fator R da USLE.

Determinação da erosividade por pluviometria

Foram analisadas séries pluviométricas de 114 localidades do estado do Paraná que possuíam dados mensais completos no período de 01/01/1986 a 31/12/2008.

A erosividade foi estimada através das oito equações lineares propostas por RUFINO et al. (1993), de acordo com a região em que está localizada a estação e convertidas para o Sistema Internacional de Unidades (TABELAS 1.1 a 1.8). A variável dependente (Y) resultou no EI_{30} mensal, e a soma dos EI_{30} mensais ao longo dos 12 meses, resultou no EI_{30} anual. A média dos EI_{30} anuais de 1986 a 2008, resultou na erosividade média anual representada pelo fator R da USLE para cada uma das 114 localidades. A variável independente (X), foi determinada através da equação (7) adaptada por LOMBARDI NETO (1977).

$$Rc = p^2 / P \qquad (7)$$

Em que: Rc é o coeficiente de relação da chuva, p é a precipitação média mensal (mm) e P é a precipitação média anual (mm).

TABELA 1.1 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 1

Nº	Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (mm)	Região	Equação
1	Alto Piquiri	24º00’	53º26’	427		
2	Altônia	23º51’	53º52’	80		
3	Ampére	25º55’	53º28’	330		
4	Assis Chateubriant	24º36’	53º36’	517		
5	Campina da Lagoa	24º35’	52º48’	618		
6	Campo Mourão	24º02’	52º22’	591		
7	Capanema	25º35’	53º58’	350		
8	Cascavel	24º55’	53º25’	760		
9	Céu Azul	25º07’	53º51’	610		
10	Cianorte	23º47’	52º38’	572		
11	Corbélia	24º48’	53º18’	682		
12	Cruzeiro do Oeste	23º46’	53º04’	480		
13	Dois Vizinhos	25º40’	52º59’	550		
14	Entre Rios	24º41’	54º13’	245		
15	Formosa do Oeste	24º16’	53º19’	370		
16	Foz do Iguaçu	25º40’	54º25’	152		
17	Goioêre	24º11’	53º01’	497		
18	Guairá	24º19’	54º13’	249		
19	Janiópolis	24º07’	52º46’	350	1	$Y = 182,86 + 56,21X$
20	Mamborê	24º16’	52º31’	702		
21	Mariluz	23º55’	53º07’	320		
22	Matelândia	25º18’	53º52’	481		
23	Nova Cantu	24º40’	52º34’	540		
24	Palmital	24º53’	52º12’	890		
25	Palotina	24º18’	53º55’	310		
26	Planalto	25º42’	53º47’	400		
27	Quedas do Iguaçu	25º26’	52º54’	666		
28	Realeza	25º00’	49º20’	350		
29	Roncador	24º35’	52º16’	723		
30	Santa Izabel do Oeste	25º46’	53º18’	400		
31	São Miguel do Iguaçu	23º00’	53º11’	309		
32	Salto do Lontra	25º48’	53º28’	444		
33	Santa Helena	25º48’	48º55’	281		
34	Tapejara	23º40’	52º58’	447		
35	Terra Roxa	24º10’	54º06’	400		
36	Toledo	24º43’	53º51’	500		
37	Tuneiras do Oeste	23º54’	52º57’	459		
38	Ubiratã	24º36’	52º56’	320		
39	Umuarama	23º44’	53º17’	480		
40	Verê	25º46’	52º55’	390		
41	Xambrê	23º44’	53º29’	412		

TABELA 1.2 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 2

Nº	Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (mm)	Região	Equação
42	Barracão	22º57’	51º12’	550		
43	Coronel Vivida	25º56’	52º42’	522		
44	Francisco Beltrão	25º05’	53º04’	650		
45	Itapejara	25º56’	52º49’	587	2	$Y = 146,86 + 55,20X$
46	Mariópolis	26º22’	52º34’	864		
47	Pato Branco	26º07’	52º41’	700		
48	Vitorino	26º15’	52º46’	723		

TABELA 1.3- EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 3

Nº	Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (mm)	Região	Equação
49	Bela Vista do Paraíso	23º06’	50º21’	600		
50	Ibiporã	23º16’	51º01’	484	3	$Y = 216,31 + 41,30X$
51	Porecatu	22º45’	51º22’	425		

TABELA 1.4 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 4

N	Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (mm)	Região	Equação
52	Andirá	22º57’	50º15’	423		
53	Arapongas	23º24’	51º25’	793		
54	Bandeirantes	24º04’	51º56’	440		
55	Cambará	23º00’	50º02’	460		
56	Londrina	23º22’	51º10’	585		
57	Maringá	23º24’	51º52’	584		
58	Nova Fátima	23º21’	50º37’	570	4	$Y = 164,12 + 39,44X$
59	Paranacity	22º49’	52º06’	250		
60	Paranavaí	23º05’	52º26’	480		
61	São Jerônimo da Serra	23º02’	51º48’	989		
62	Santa Fé	23º46’	50º48’	485		
63	Santa Izabel do Ivaí	25º52’	50º23’	400		

TABELA 1.5 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 5

N	Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (mm)	Região	Equação
64	Barbosa Ferraz	26º13’	53º28’	330		
65	Cândido de Abreu	24º37’	51º16’	900		
66	Fênix	23º50’	52º01	420		
67	Grandes Rios	24º11’	51º25’	726		
68	Iretama	24º25’	52º12’	603	5	$Y = 191,79 + 48,40X$
69	Ivaiporã	24º15’	51º39’	360		
70	Manoel Ribas	24º30’	51º40’	972		
71	Pitanga	24º45’	51º45’	892		
72	Prudentópolis	24º55’	51º22’	590		

TABELA 1.6 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 6

N	Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (mm)	Região	Equação
73	Bituruna	26º11’	51º17’	802		
74	Clevelândia	26º25’	52º21’	930		
75	Cruz Machado	25º56’	51º15’	880		
76	General Carneiro	26º23’	51º16’	800		
77	Guaraniaçu	25º04’	52º52’	920		
78	Inácio Martins	25º41’	51º12’	960	6	$Y = 107,52 + 46,89X$
79	Laranjeiras do Sul	25º25’	52º25’	880		
80	Mallet	25º57’	50º40’	750		
81	Palmas	26º29’	51º59’	1100		
82	Pinhão	25º51’	51º46’	1245		
83	Porto Vitória	26º10’	51º13’	790		
84	União da Vitória	26º13’	51º04’	746		

TABELA 1.7 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 7

N	Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (mm)	Região	Equação
85	Castro	24º56’	49º49’	1007		
86	Fernandes Pinheiro	25º27’	50º35’	893		
87	Guarapuava	25º21’	51º30’	1020		
88	Irati	25º28’	50º46’	797		
89	Ivaí	24º57’	50º53’	743		
90	Jaguariaíva	24º22’	49º34’	1000		
91	Joaquim Távora	23º30’	49º57’	512	7	$Y = 93,29 + 41,20X$
92	Palmeira	25º25’	49º49’	950		
93	Ponta Grossa	25º12’	50º09’	790		
94	Porto Amazonas	25º33’	49º52	793		
95	Telêmaco Borba	24º20’	50º37’	768		
96	Tibagi	24º30’	50º24’	720		
97	Tomazina	23º46’	49º57’	483		

TABELA 1.8 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 8

N	Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (mm)	Região	Equação
98	Adrianópolis	24º43’	48º45’	230		
99	Antonina	25º13’	48º45’	80		
100	Bocaiúva	25º12’	49º06’	969		
101	Campo Largo	25º28’	49º34’	901		
102	Cerro Azul	24º49’	49º16’	320		
103	Curitiba	25º27’	49º14’	884	8	$Y = 33,26 + 40,71X$
104	Guaraqueçaba	25º16’	48º32’	73		
105	Lapa	25º55’	49º46’	750		
106	Mandirituba	25º46’	49º19	920		
107	Morretes	25º30’	48º49’	60		
108	Paranaguá	25º35’	48º37	32		

Continua...

Cont. TABELA 1.8 - EQUAÇÃO DE CORRELAÇÃO PARA AS ESTAÇÕES LOCALIZADAS NA REGIÃO 8

N	Localidade	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (mm)	Região	Equação
109	Piraquara	25º27’	49º04’	900	8	$Y = 33,26 + 40,71X$
110	Rio Branco do Sul	25º34’	53º31’	480		
111	Rio Negro	26º06’	49º48’	770		
112	São José dos Pihais	24º46’	54º14’	237		
113	São Mateus	25º20’	54º14’	760		
114	Tijucas	25º49’	49º09’	913		

Análise geoestatística

Os dados coletados e tabulados deram origem a uma planilha com a localização geográfica, em UTM, das 114 estações, bem como a pluviometria e as erosividades médias mensais, e anual, para o período estudado. Inicialmente foi realizada uma análise exploratória dos dados e determinados os valores máximo, mínimo, médio e mediana, e verificada a condição de normalidade dos dados. Neste estudo foi utilizado o modelo “matern” do pacote estatístico geoR, para ajuste do semivariograma, pois foi o que melhor se ajustou à forma da curva dos pontos. O procedimento de ajuste não é automático, depende do usuário para fazer um primeiro ajuste e verificar se o modelo é adequado ou não, podendo ser redefinido até que se obtenha um modelo satisfatório. Este semivariograma ajustado fornece apenas os valores iniciais para o bom ajuste que se espera pelo método da máxima verossimilhança, que não se baseia nos pontos do semivariograma e sim nas diferenças dos pares de pontos. Depois do ajuste do semivariograma e da verificação da dependência espacial dos dados avaliados, foi utilizada a krigagem ordinária para estimar os valores de erosividade para a área de estudo.

Todas as análises descritivas, geoestatísticas e produção de mapas do presente estudo, foram realizadas utilizando o programa estatístico R e o pacote geoR (Ribeiro Junior & Diggle, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Comparando os valores de erosividade estimados neste trabalho utilizando métodos pluviométricos com os valores estimados por Rufino et al. (1993), que utilizaram métodos pluviográficos (TABELA 1.9), para 26 localidades coincidentes nas duas pesquisas, constata-se que a localidade de Quedas do Iguaçu foi a que apresentou a maior alteração positiva na erosividade média anual, aumentando de 10.772 para 12.169 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}. A localidade de Paranavaí foi a que apresentou a maior alteração negativa, tendo sua erosividade média anual reduzida de 7.956 para 7.338 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}. A localidade de Antonina permaneceu com a erosividade média anual praticamente inalterada, passando de 11.095 para 11.085 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}.

Com o objetivo de avaliar a validade das equações lineares propostas por Rufino et al. (1993), para estimar a erosividade pelo método de pluviometria, foram escolhidas três localidades que tiveram a erosividade estimada pelos dois métodos: o pluviográfico e o pluviométrico.

As localidades seriam, inicialmente, Quedas do Iguaçu, (que apresentou a maior alteração positiva 1.397 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}), Paranavaí, (apresentou a maior alteração negativa -618 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}) e Antonina (praticamente não sofreu alteração 10 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}). Contudo como as estações de Quedas do Iguaçu e Antonina foram desativadas e não possuem dados pluviográficos completos para o período amostrado, estas cidades foram substituídas por Planalto (maior alteração positiva 1.238 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}) e Umuarama (maior alteração negativa 19 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}), utilizando os mesmos critérios, porém considerando apenas as estações que possuem séries de dados pluviométricos e pluviográficos completos para o período de 1986 a 2008.

Os dados da tabela 1.9 foram utilizados apenas para definir as três localidades que teriam a erosividade estimada pelos dois métodos, não podendo ser utilizada para avaliar se houve aumento ou redução da erosividade comparando os resultados da pesquisa de Rufino et al. (1993) e o

presente estudo, pois para as 26 localidades em questão as referidas pesquisas utilizaram metodologias diferentes.

TABELA 1.9 – DIFERENÇA NA PRECIPITAÇÃO E NA EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O PERÍODO 1972-1989, RUFINO et al. (1993) E O PRESENTE ESTUDO PERÍODO 1986-2008

LOCALIDADE	PRECIPITAÇÃO MÉDIA (mm)			EROSIVIDADE MÉDIA (MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1})		
	1986-2008	1972-1989	Diferença	1986-2008*	1972-1989**	Diferença
Antonina	2582	2424	158	11085	11095	-10
Bandeirantes	1428	1449	-21	7527	7151	376
Bela Vista do Paraíso	1482	1545	-63	8609	8770	-161
Cambará	1414	1351	63	7517	7161	356
Cascavel	1885	1923	-38	11584	11635	-51
Cerro Azul	1424	1314	110	5957	5209	748
Cianorte	1471	1633	-162	9710	9898	-188
Clevelândia	2039	1978	61	9611	8849	762
Francisco Beltrão	2052	1936	116	11892	11605	287
Guarapuava	1902	1902	0	9137	8535	602
Guaraqueçaba	2420	2305	115	10609	9565	1044
Ibiporã	1465	1593	-128	8529	8907	-378
Joaquim Távora	1409	1415	-6	6769	6229	540
Laranjeiras do Sul	2023	1920	103	9684	9476	208
Londrina	1571	1609	-38	7943	8093	-150
Morretes	2006	1876	130	8547	7887	660
Nova Cantu	1984	1924	60	12015	11448	567
Palmas	2091	2054	37	9839	9722	117
Palotina	1644	1623	21	10433	11036	-603
Paranavaí	1469	1492	-23	7338	7956	-618
Pato Branco	2069	2049	20	11857	11046	811
Planalto	1948	1857	91	11568	10330	1238
Ponta Grossa	1568	1465	103	6788	6406	382
Quedas do Iguaçu	1973	1957	16	12169	10772	1397
Telêmaco Borba	1594	1616	-22	7100	6690	410
Umuarama	1610	1612	-2	10310	10291	19

* Método pluviométrico
** Método pluviográfico

Analisando os gráficos de correlação entre os dois métodos (FIGURA 1.2), gerados a partir dos dados da (TABELA 1.10), constata-se que Umuarama apresentou a maior correlação com r=0,9403, seguida por

Paranavaí r=0,9243 e Planalto r=0,9230. Assim, é possível considerar que as equações lineares propostas por Rufino et al. (1993), continuam estimando com boa correlação a erosividade, utilizando para isto, dados pluviométricos que podem ser obtidos por meio de uma rede mais ampla de estações e mais simples de serem calculados. MAZURANA et al. (2009) também encontraram boa correlação linear entre os métodos pluviométricos e pluviográficos para a região de Santa Rosa, RS.

TABELA 1.10 – RESULTADOS PARA A EROSIVIDADE DAS CHUVAS EM TRÊS LOCALIDADES UTILIZANDO MÉTODOS PLUVIOGRÁFICOS E PLUVIOMÉTRICOS.

MÊS	PLANALTO		UMUARAMA		PARANAVAÍ	
	EI Pluviografia	EI Pluviometria	EI Pluviografia	EI Pluviometria	EI Pluviografia	EI Pluviometria
	MJ mm ha^{-1} h^{-1}		MJ mm ha^{-1} h^{-1}		MJ mm ha^{-1} h^{-1}	
Jan	1182	1207	1337	1418	1346	1329
Fev	1057	953	1164	1028	1144	870
Mar	599	532	804	630	1022	665
Abr	1126	793	888	779	569	422
Mai	1212	1400	907	996	660	578
Jun	663	831	378	541	289	348
Jul	398	500	183	318	172	258
Ago	578	513	243	390	192	258
Set	802	803	716	863	490	616
Out	1981	2278	1083	1249	880	715
Nov	1154	905	1101	1012	726	566
Dez	1096	853	1074	1086	892	714
Total	11848	11568	9877	10310	8383	7338

Embora a comparação para validar as oito equações lineares tenha sido feita para apenas três localidades, estas localidades representaram as alterações extremas como Planalto e Paranavaí e a menor alteração como foi o caso de Umuarama.

Diante destes resultados foi possível ampliar a pesquisa para as 114 localidades que possuíam séries pluviométricas completas para o período de 1986 a 2008. Dentro desta ampla rede de estações analisadas, a cidade de Ampére, no sudoeste do Estado foi a que apresentou a máxima erosividade média anual (12.581 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}) e Piraquara, na região

metropolitana de Curitiba, a que apresentou a mínima erosividade média anual (5.449 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}), (TABELA 1.11). Isto demonstra a grande variação da erosividade dentre as diferentes regiões do Estado, implicando na adoção de práticas conservacionistas e de uso e manejo do solo, diferentes para cada região. Esta variação também é percebida ao longo do ano quando se analisa as erosividades mensais. Na média de todas as localidades, a erosividade é mais acentuada nos meses de janeiro, outubro, fevereiro e dezembro, nesta ordem decrescente, e tem seu potencial erosivo reduzido nos meses de julho e agosto (FIGURA 1.3).

Este resultado serve apenas de referência devendo cada localidade ser analisada individualmente, mas de forma geral como é de se esperar as chuvas são mais erosivas nos meses de verão e menos erosivas nos meses de inverno. Contudo, observou-se um resultado importante para o mês de outubro, que se avaliado em ordem decrescente ficou em segundo lugar como o mais erosivo, com resultado próximo ao do mês de janeiro, estimado o mais erosivo. Este resultado é preocupante em termos de erosão do solo e potencial de perdas de água por escoamento superficial, pois no Paraná outubro é o mês que se segue à colheita das culturas de inverno e precede o plantio de culturas de verão, levando a uma condição em que o solo está, sem os efeitos protetores da cobertura vegetal para contrabalançar a elevada erosividade.

A região sudoeste no terceiro planalto é a que apresenta os índices mais expressivos de erosividade, ultrapassando em algumas localidades 12.000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, seguida pela região litorânea e a região oeste (FIGURA 1.4). Estes valores são superiores aos encontrados por BAZZANO et al. (2007), para Quaraí, RS, valor de 9.292 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}; por CASSOL et al. (2008), para São Borja, RS, valor de 9.751 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, e por MAZURANA et al.(2009), para Santa Rosa, RS, valor de 11.217 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, considerados elevados. Nas regiões central norte e noroeste a erosividade é menor, variando de 6.000 a 8.000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} (FIGURA 1.4). Semelhante aos encontrados no estado de São Paulo por ROQUE et al. (2001), para PIRAJU, SP, valor de 7.074 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} e COLODRO et al. (2002), para Teodoro Sampaio, SP, valor de 7.172 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}.

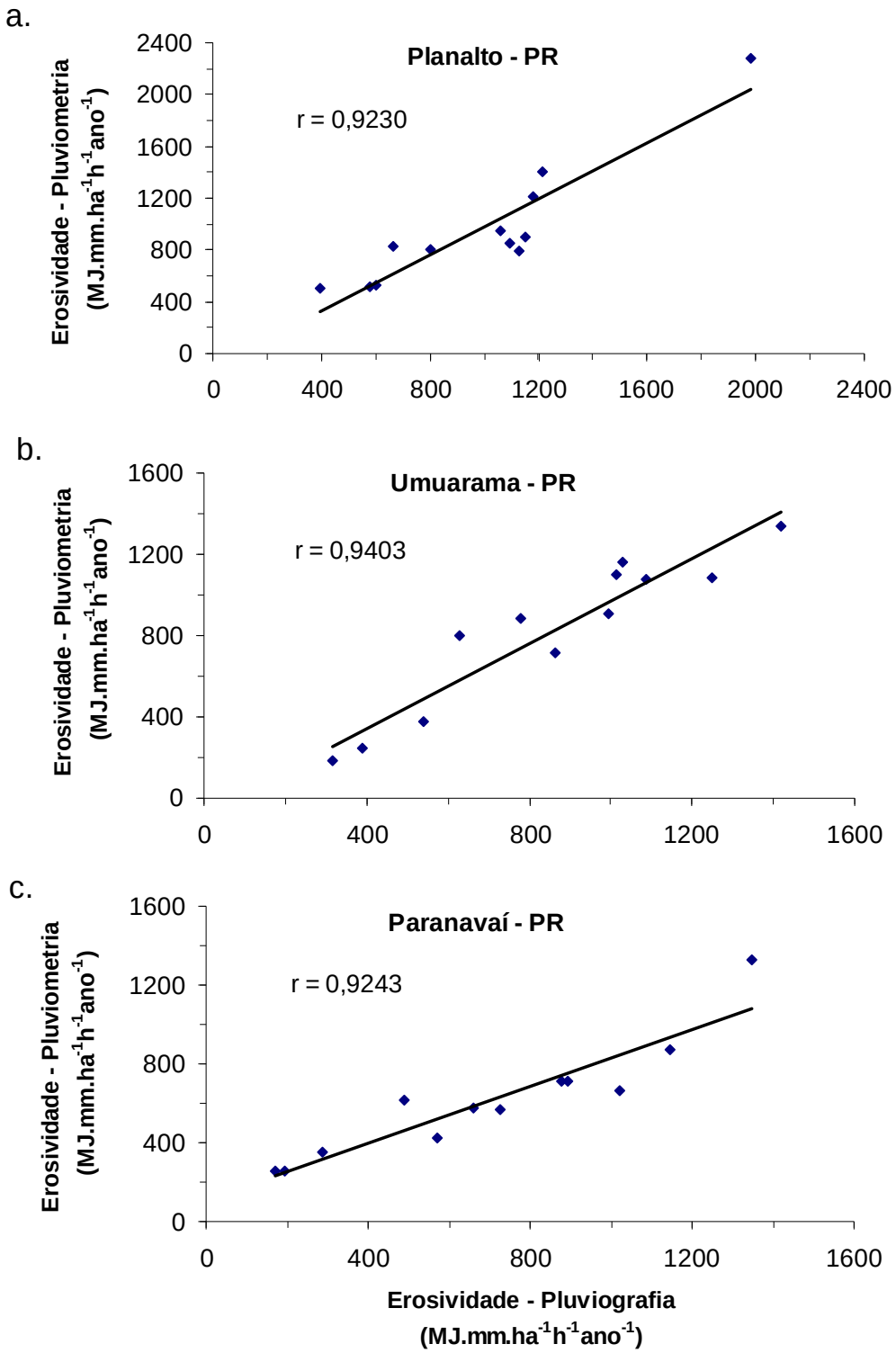


FIGURA 1.2 – GRÁFICO DA CORRELAÇÃO ENTRE OS MÉTODOS PLUVIOGRÁFICO E PLUVIOMÉTRICO UTILIZANDO AS EQUAÇÕES LINEARES PROPOSTAS POR (RUFINO et al., 1993), PARA DADOS DO PERÍODO DE 1986 A 2008

TABELA 1.11 – EROSIVIDADES MÉDIAS MENSAIS E ANUAIS (R), ESTIMADA POR PLUVIOMETRIA PARA 114 LOCALIDADES DO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE 1986 A 2008

Localidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	R
	MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$												
Adrianópolis	2008	1052	588	191	270	201	248	133	418	400	303	556	6368
Alto Piquiri	1609	858	533	748	991	477	357	454	876	1305	932	1173	10312
Altonia	1443	918	548	680	1128	471	311	425	756	1281	1120	1003	10084
Ampére	1435	941	579	992	1331	990	548	468	1079	2103	932	1183	12581
Andirá	1519	1059	767	351	455	271	226	218	397	587	676	1018	7544
Antonina	2607	1988	1458	431	317	204	284	160	621	786	859	1372	11088
Arapongas	1366	1032	687	480	539	380	276	240	580	632	664	1003	7880
Assis Chateaubriand	1340	998	650	839	1178	625	424	424	962	1533	983	1027	10982
Bandeirantes	1528	980	608	411	459	275	244	216	499	628	624	1057	7529
Barbosa Ferraz	1794	1030	609	570	754	468	345	359	752	899	735	947	9264
Barracão	1448	1131	604	1141	1073	943	567	467	1030	2031	971	1006	12412
Bela Vista do Paraíso	1868	1035	688	474	599	383	299	274	535	711	774	971	8611
Bituruna	892	826	565	644	843	601	461	384	854	1249	626	726	8669
Bocaiúva do Sul	1377	785	498	206	337	260	317	162	536	641	405	670	6194
Cambará	1383	1060	866	412	390	266	235	214	388	656	765	887	7520
Campina da Lagoa	1364	1151	818	967	1207	588	464	372	839	1405	986	1300	11461
Campo Largo	1053	814	484	276	407	229	278	182	630	677	409	665	6104
Campo Mourão	1827	1213	699	657	875	508	384	395	837	1203	799	1033	10430
Cândido de Abreu	1306	780	463	387	664	366	382	233	621	877	489	712	7281
Capanema	1179	859	524	768	1138	856	495	445	941	1787	924	1069	10984
Cascavel	1066	952	700	979	1447	775	437	433	773	1817	1097	1113	11588
Castro	1203	782	427	244	336	194	200	143	428	679	427	565	5627
Cerro Azul	1440	822	437	201	337	188	216	134	453	587	360	785	5959
Céu Azul	1273	947	831	957	1568	658	464	431	926	1964	1108	995	12121
Cianorte	1741	1026	564	642	926	460	349	384	732	1075	906	908	9713
Clevelândia	954	764	494	942	894	736	419	434	802	1595	715	864	9614
Corbélia	1375	1007	824	970	1427	746	470	425	945	1494	1163	1243	12088
Coronel Vivida	1419	828	582	811	1188	890	478	402	811	1713	776	982	10880
Cruz Machado	1097	958	576	610	799	567	426	336	884	1261	769	774	9058
Cruzeiro do Oeste	1486	1044	474	691	1001	487	321	393	761	1103	1040	1228	10026
Curitiba	1160	827	595	222	331	206	271	179	577	602	366	600	5937
Dois Vizinhos	1417	976	628	915	1286	826	534	468	948	1922	906	1039	11864
Entre Rios	983	850	631	867	1363	592	404	398	855	1432	1108	1011	10495
Fênix	1602	898	756	543	815	447	327	366	643	838	769	945	8948
Fernandes Pinheiro	1152	626	443	357	644	394	375	233	733	896	418	754	7024
Formosa do Oeste	1308	951	490	805	1342	624	384	434	771	1470	796	911	10286
Foz do Iguaçu	1005	857	533	896	1278	831	396	482	841	1768	916	1234	11037
Francisco Beltrão	1296	937	588	1126	1245	944	512	426	999	2175	833	815	11896
General Carneiro	939	946	545	604	773	598	454	358	839	1206	686	721	8670
Goioerê	1416	1089	497	708	1113	628	363	390	947	1343	988	1164	10645
Grandes Rios	1746	1081	656	582	852	509	421	382	867	1080	850	988	10014
Guairá	1185	959	591	980	937	550	360	408	911	1301	1267	1061	10509
Guaraniaçu	1449	1178	834	979	1331	750	509	429	1032	1723	1020	1151	12384
Guarapuava	1231	820	566	696	855	495	416	287	852	1294	716	910	9140
Guaraqueçaba	2871	2093	1389	527	278	180	243	148	511	589	613	1170	10613
Ibiporã	1727	1155	680	480	582	384	297	278	536	591	806	1014	8531
Inácio Martins	1086	919	584	592	682	489	378	322	928	1282	594	897	8753
Irati	1282	758	436	394	660	390	376	238	725	997	460	725	7442
Iretama	1918	1090	862	737	1023	543	544	386	833	1453	847	1218	11456
Itapejara do Oeste	1227	897	545	936	1206	881	547	459	967	1976	896	926	11463
Ivaiporã	1659	1002	698	660	893	533	434	387	795	963	758	900	9682
Ivaí	1162	721	537	328	663	389	405	246	689	852	452	634	7077
Jaguariaíva	1567	787	505	308	477	274	252	192	523	578	408	784	6657
Janiópolis	1433	1091	713	721	1031	526	401	426	940	1294	880	1306	10762
JoaquimTávora	1704	850	577	383	437	241	186	173	401	542	503	774	6771
Lapa	948	788	458	310	597	383	390	267	641	779	414	603	6578
Laranjeiras do Sul	1121	932	483	746	1002	617	442	333	827	1629	579	977	9687
Londrina	1508	1143	581	436	537	336	263	236	508	573	777	1048	7945
Mallet	1054	734	500	473	569	430	329	280	602	960	500	636	7068
Mamborê	1453	1057	814	823	1186	620	478	394	925	1543	1013	1185	11492
Mandirituba	1066	731	404	252	362	233	260	210	611	649	348	542	5670
Manoel Ribas	1830	1004	615	720	1058	597	542	349	965	1223	804	1053	10761
Mariluz	1423	997	497	691	962	458	331	377	768	1111	925	1124	9663
Maringá	1341	935	647	513	615	338	255	245	567	653	727	827	7664
Mariópolis	1207	970	538	1102	1122	811	523	551	1005	2058	870	892	11651

Continua...

Cont. TABELA 1.11 – EROSIVIDADES MÉDIAS MENSAIS E ANUAIS (R), ESTIMADA POR PLUVIOMETRIA PARA 114 LOCALIDADES DO ESTADO DO PARANÁ NO PERÍODO DE 1986 A 2008

Localidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	R
	MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$												
Matelândia	1388	954	755	844	1304	835	425	440	822	1904	968	892	11531
Morretes	2197	1503	1057	282	279	184	279	144	537	537	594	956	8550
Nova Cantu	1458	1207	875	1061	1190	669	508	374	924	1506	947	1299	12018
Nova Fátima	1668	893	530	433	558	349	258	230	508	578	612	1081	7698
Palmas	916	705	517	833	927	752	528	433	968	1774	646	844	9842
Palmeira	969	788	509	306	350	272	287	197	658	650	380	656	6022
Palmital	1703	1078	823	829	1268	878	681	404	900	1605	826	1169	12164
Palotina	1423	1080	555	896	1046	560	368	390	903	1264	1033	918	10436
Paranacity	1119	866	569	394	491	280	214	243	552	637	479	718	6563
Paranaguá	2363	1594	1169	408	267	151	221	132	481	501	660	1117	9064
Paranavaí	1329	870	665	422	578	348	258	258	616	715	566	714	7340
Pato Branco	1290	902	540	1074	1201	895	553	473	981	1978	933	1043	11861
Pinhão	1067	953	647	747	938	717	488	372	882	1428	730	873	9843
Piraquara	1100	650	432	216	282	239	308	163	530	502	392	635	5449
Pitanga	1424	810	436	527	922	476	406	322	926	1126	583	862	8819
Planalto	1208	953	532	793	1400	832	500	513	804	2279	905	853	11571
Ponta Grossa	925	757	586	352	499	322	361	261	688	790	526	723	6790
Porecatu	1768	1010	596	505	561	345	281	276	484	672	725	1034	8257
Porto Amazonas	1073	739	542	360	547	358	373	265	666	771	419	626	6739
Porto Vitória	940	786	501	555	869	618	499	344	834	1263	589	760	8557
Prudentópolis	1223	884	459	487	750	459	420	275	960	1168	579	923	8586
Quedas do Iguaçu	1617	988	587	938	1224	695	501	428	1014	2154	942	1087	12173
Realeza	1181	974	584	792	1152	731	409	428	783	2047	749	889	10719
Rio Branco do Sul	1583	773	496	224	319	233	213	124	453	533	375	675	6001
Rio Negro	1061	703	455	346	561	414	386	307	656	809	413	698	6810
Roncador	1703	1104	865	880	1212	590	467	403	889	1390	1073	1331	11906
Salto do Lontra	1304	1045	518	872	1302	903	550	468	992	1840	893	1025	11712
Santa Fé	1748	734	571	361	513	342	249	230	559	622	617	869	7415
Santa Helena	1129	955	661	1045	1274	608	498	421	835	1656	1224	955	11261
Santa Izabel Ivaí	1135	840	411	417	584	302	248	312	435	740	651	607	6683
Santa Izabel do Oeste	1249	922	617	847	1399	879	480	448	944	1988	890	910	11573
São Jerônimo da Serra	1865	1172	498	445	631	386	302	266	608	672	593	1051	8489
São José dos Pinhais	2103	1528	815	406	341	255	264	172	799	636	589	869	8777
São Mateus Sul	1199	872	378	378	534	410	371	277	658	832	521	660	7090
São Miguel do Iguaçu	925	878	673	868	1306	745	415	448	789	1803	901	949	10701
Tapejara	1533	1043	584	612	848	474	319	361	705	1029	820	1102	9429
Telêmaco Borba	1363	863	428	344	573	336	286	228	663	739	536	742	7102
Terra Roxa	1392	987	457	897	977	521	349	401	926	1303	1089	1118	10415
Tibagi	1300	738	434	365	568	324	278	241	649	718	520	872	7007
Tijucas do Sul	1227	843	440	277	340	285	376	205	614	642	409	717	6377
Toledo	1060	963	645	915	1142	565	383	409	1036	1365	931	1210	10623
Tomazina	1725	968	602	332	439	245	232	186	502	494	418	946	7089
Tuneiras do Oeste	1371	994	590	741	1011	499	347	368	827	1169	899	1311	10126
Ubiratã	1374	1122	823	833	1173	576	458	361	829	1329	915	1116	10910
Umuarama	1418	1029	630	779	996	542	318	390	863	1249	1013	1086	10313
União da Vitória	888	790	506	534	789	595	495	366	818	1245	541	707	8274
Verê	1272	1133	698	1131	1346	902	583	531	1005	1948	897	962	12408
Vitorino	1359	1005	562	1198	1266	887	507	515	948	2048	866	863	12023
Xambrê	1348	722	589	754	1021	426	322	438	789	1034	943	977	9364
MÁXIMO	2871	2093	1458	1198	1568	990	681	551	1079	2279	1267	1372	12581
MÍNIMO	888	626	378	191	267	151	186	124	388	400	303	542	5449
MÉDIA	1394	965	614	631	843	512	380	331	754	1173	741	933	9269

As diferentes erosividades médias estimadas para as regiões do estado do Paraná, sugerem com relação ao fator R da USLE, que nas regiões sudoeste, oeste e litoral, as chuvas têm um potencial de causar erosão consideravelmente maior que nas outras regiões do Estado. Daí a importância

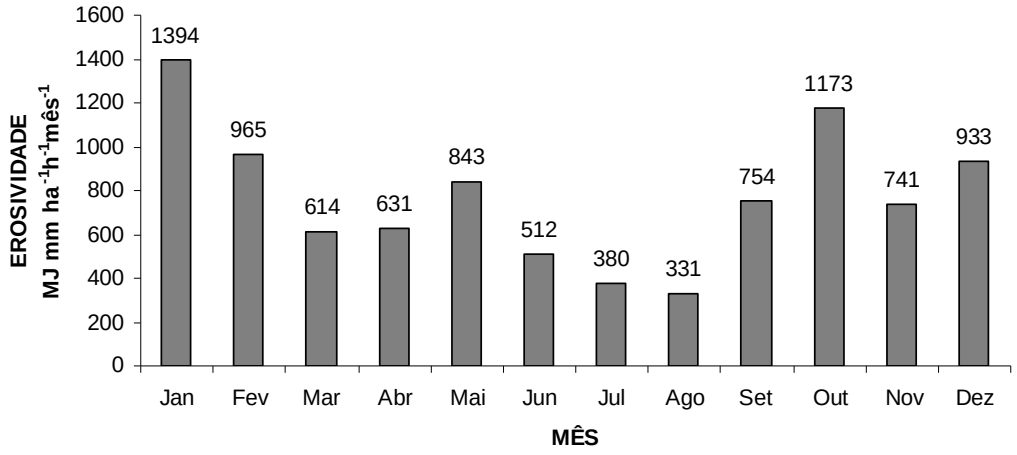


FIGURA 1.3 – DISTRIBUIÇÃO MÉDIA MENSAL DA EROSIVIDADE CONSIDERANDO AS 114 LOCALIDADES PARA O PERÍODO DE 1986 A 2008.

de se adotar técnicas de manejo e práticas conservacionistas adequadas para cada região.

FIGURAS 1.5 e 1.6, apresentam a evolução mensal e a distribuição espacial da erosividade média mensal no estado do Paraná, confirmando os meses de janeiro (litoral) e outubro (sudoeste) como os potencialmente mais erosivos, principalmente no litoral em janeiro e na região sudoeste em outubro. Partindo desta análise mensal percebe-se que à medida que se avança para os meses de inverno a erosividade vai diminuindo em todas as regiões, principalmente no litoral, que tem sua erosividade reduzida de 2.600 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ em janeiro para aproximadamente 100 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ em agosto. Já para a região sudoeste, a erosividade média mensal diminui de 1.200 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ em janeiro para, aproximadamente, 400 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ em agosto. A partir de setembro a erosividade começa aumentar em todas as regiões, chegando, em dezembro a 1.200 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, nas regiões litorânea, oeste e norte. Porém, as regiões oeste e sudeste têm um pico nos valores de erosividade no mês de outubro chegando, esta última, a 2.100 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$. HICKMANN et al. (2008) e CASSOL et al. (2008), também encontraram picos extremos de erosividade no mês de outubro nas localidades de Uruguaiana, e São Borja, ambas no RS, respectivamente. Esse pico de erosividade ocorre devido à intensa precipitação neste período, que

está associada aos Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), frequentes nas estações de transição. O CCM é um sistema com espessa cobertura de nuvens frias, com forma aproximadamente circular e diâmetro na ordem de centenas de quilômetros e que duram no mínimo seis horas. O CCM torna-se mais intenso com a mudança sazonal do jato subtropical de altos níveis que no mês de outubro normalmente encontra-se próximo dessa região do Paraná, intensificado com a interação do vento de baixos níveis, úmido e quente vindo do norte (GRIMM, 2009).

Quando se analisa a erosividade média anual das chuvas (FIGURA 1.4), constata-se que o litoral e a região sudoeste apresentaram valores semelhantes e elevados de erosividade. Contudo, a análise da distribuição mensal da erosividade ao longo do ano (FIGURAS 1.5 e 1.6), mostra que estes valores extremos ocorrem em períodos diferentes. No litoral, ocorre no mês de janeiro e no sudoeste, no mês de outubro.

Normalmente os mapas isoerodentes apresentam apenas os resultados relacionados com a média anual da erosividade. Porém mapas com os resultados médios mensais também são importantes, principalmente para identificar os períodos em que as chuvas são mais erosivas em cada região.

De acordo com o banco de dados disponível o período poderia ser estendido de 1979 a 2008. Porém, para este período os resultados para a erosividade média foram menores, minimizando a tendência de possíveis aumentos no potencial erosivo das chuvas nos últimos 23 anos.

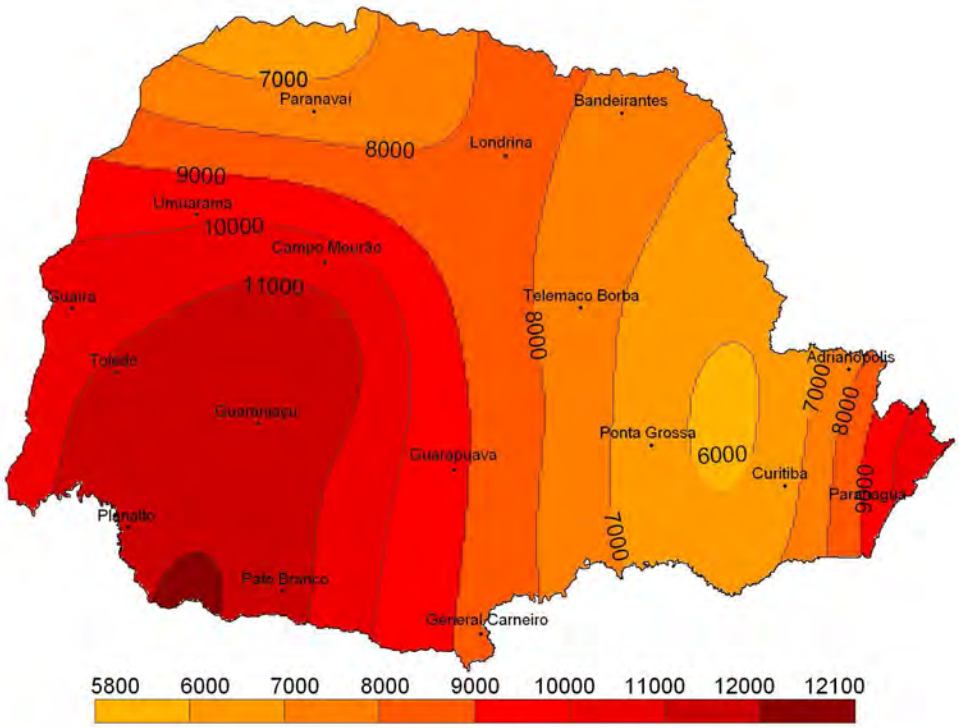


FIGURA 1.4 – MAPA ISOERODENTE DO ESTADO DO PARANÁ. ESTIMATIVA ATUALIZADA COM DADOS DE 1986 A 2008, VALORES MÉDIOS ANUAIS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}.

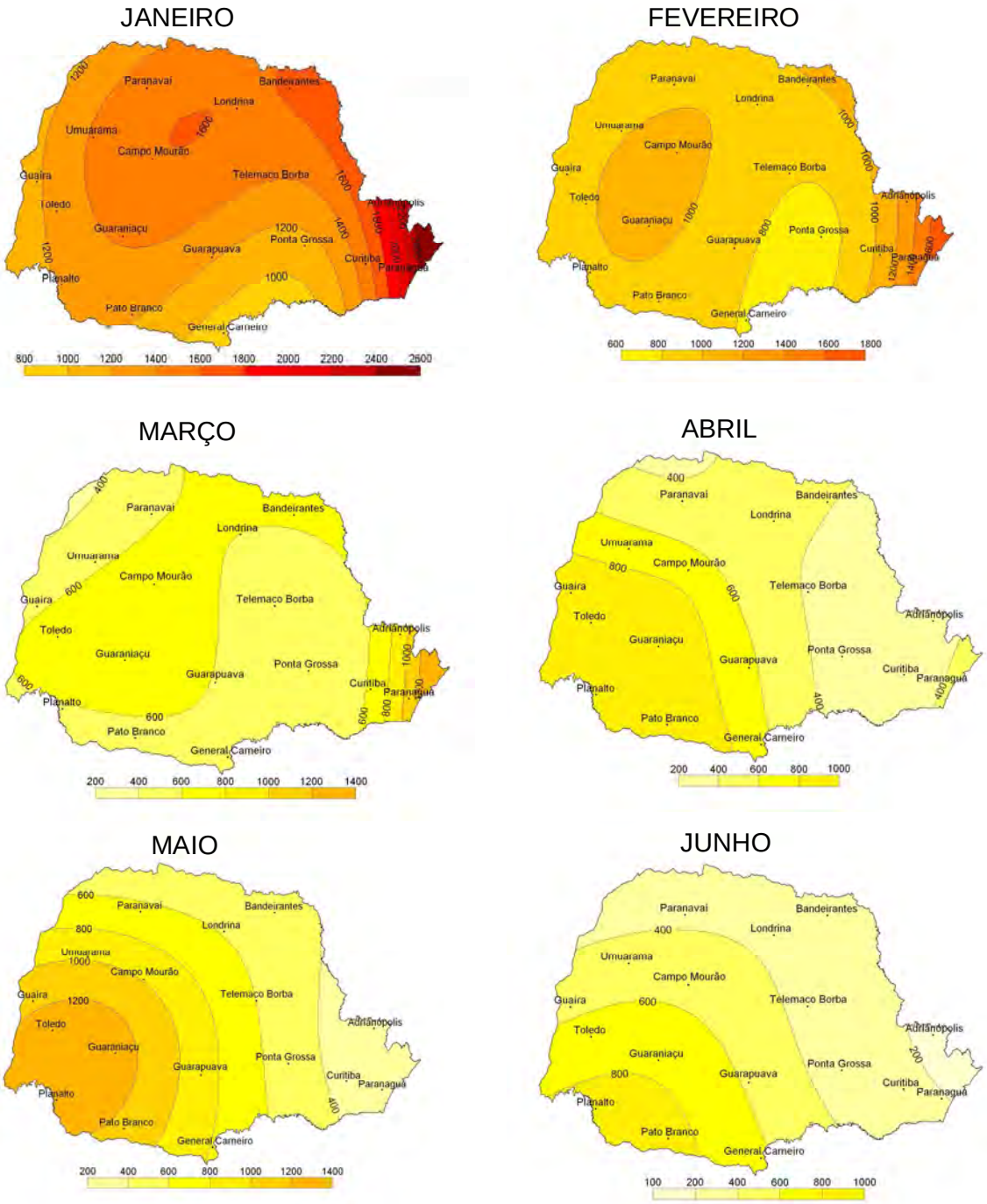


FIGURA 1.5 – ESTIMATIVA DA EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL DAS CHUVAS PARA O ESTADO DO PARANÁ PARA OS MESES DE JANEIRO, FEVEREIRO, MARÇO, ABRIL, MAIO E JUNHO, VALORES MÉDIOS MENSAIS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$.

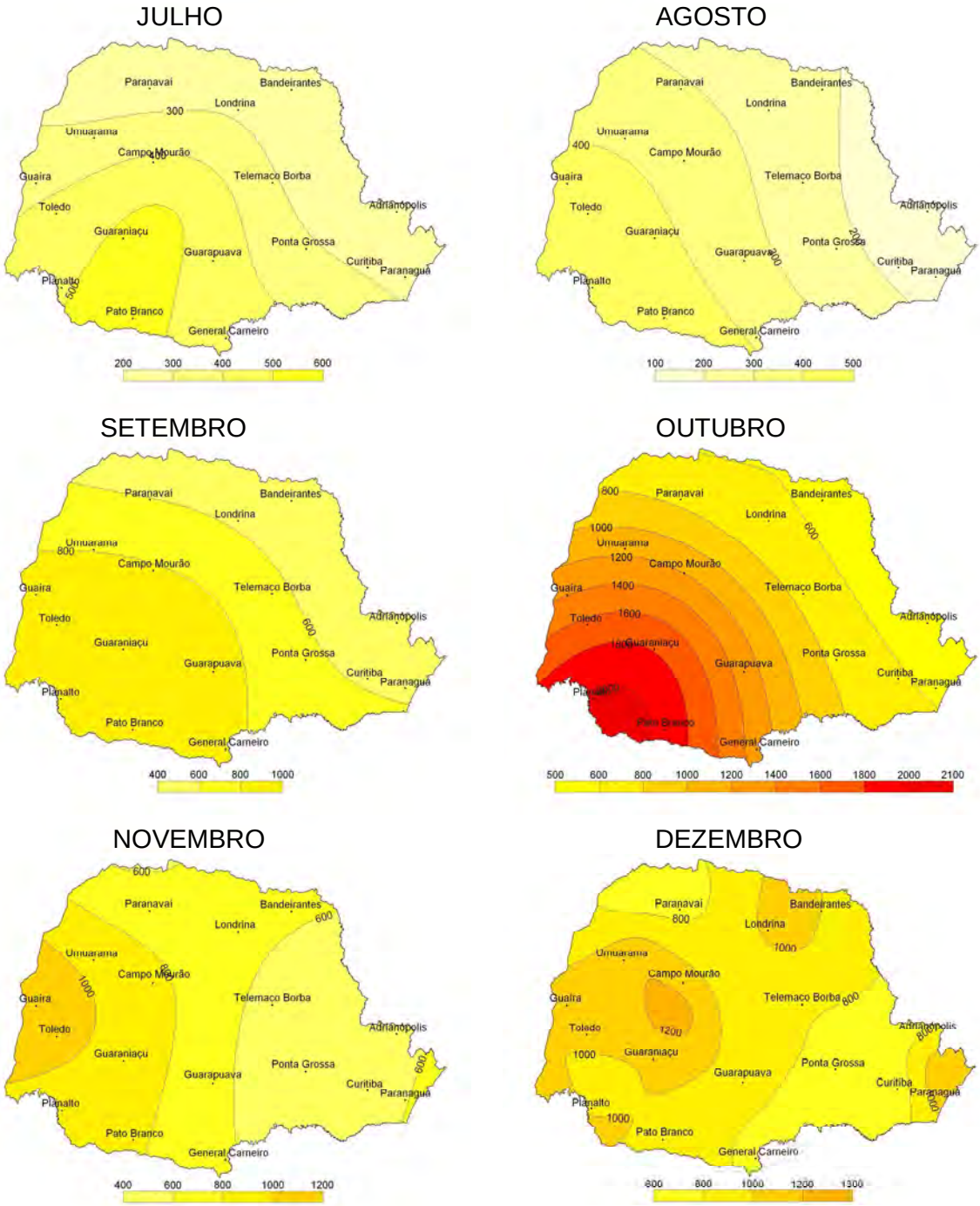


FIGURA 1.6 – ESTIMATIVA DA EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL DAS CHUVAS PARA O ESTADO DO PARANÁ PARA OS MESES DE JULHO, AGOSTO, SETEMBRO, OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO, VALORES MÉDIOS MENSAIS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$.

CONCLUSÕES

1. O método pluviométrico utilizado para estimar a erosividade das chuvas no estado do Paraná, apresentou excelente correlação com o método pluviográfico podendo ser utilizado para estimar a erosividade em localidades que não são assistidas por pluviógrafos ou para simplificar os cálculos.

2. O estado do Paraná possui duas regiões em que as chuvas são potencialmente mais erosivas: A região litorânea e a região sudoeste.

3. Os mapas isoerodentes mensais possibilitaram identificar que os valores mais elevados de erosividade das chuvas no Estado ocorrem em períodos diferentes nas regiões litorânea e sudoeste.

4. Na região litorânea as chuvas mais erosivas ocorrem em janeiro e fevereiro, na região sudoeste em maio e outubro.

LITERATURA CITADA

ALBUQUERQUE, A. W.; SANTOS J. R.; COSTA J. P. V.; SOUZA FILHO J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p.53-169, 2005.

BAZZANO, M. G. P.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A. Erosividade, coeficiente de chuva, padrões e período de retorno das chuvas de Quaraí, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 1205-1217, 2007.

BERTOL, I.; LEITE, D.; GUADAGNIN, J. C.; RITTER, S. R. Erosão hídrica em um Nitossolo Háplico submetido a diferentes sistemas de manejo sob chuva simulada. II – Perdas de nutrientes e carbono orgânico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.28, p.1045-1054, 2004.

BEUTLER, J. F.; BERTOL, I.; VEIGA, M.; WILDNER, L. P. Perdas de solo e água num Latossolo Vermelho aluminoférrico submetido a diferentes sistemas de preparo e cultivo sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.509-517, 2003.

CABEDA, M. S. V. Computation of storm EI value. West Lafayette: **Purdue University**, 1976. 6p (não publicado).

CARVALHO, D. F.; MONTEBELLER, C.A.; FRANCO, E. M.; VALCARCEL, R.; BERTOL, I. Padrões de precipitação e índices de erosividade para as chuvas de Seropédica e Nova Friburgo, RJ. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, p.7-14, 2005.

CARVALHO, M.P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO J.; CATANEO A. Índices de Erosividade da Chuva Correlacionados com as Perdas de Um Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico Textura Argilosa de Mococa (SP): Primeira Aproximação do Fator Erodibilidade do Solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, 13, p.237-242, 1989.

CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; MARTINS, D.; LEMOS, A. M.; LIMA, V. S.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos, período de retorno e probabilidade de ocorrência das chuvas em São Borja, RS. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1239-1251, 2008.

CASTRO FILHO, C.; CATANEO, A. e BISCAIA, R. C. M. Utilização da metodologia de Wilkinson para cálculo do potencial erosivo das chuvas em cinco localidades do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.6, p.240-241, 1982.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de

fertilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p. 743-753, 2003.

COGO, N. P. & BERTOL, I. O Papel de Práticas Mecânicas e Não-Mecânicas no Controle da Erosão Hídrica do Solo: Conceitos e Princípios. In: Nueremberg, N. J. ed. **Conceitos e Fundamentos do Sistema Plantio Direto.** Lages: NRS/SBCS. p.53-75, 1998.

COLODRO, G.; CARVALHO, M. P.; ROQUE, C. G.; PRADO, R. M. Erosividade da chuva: Distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.809-818, 2002.

DIAS, A. S. & SILVA, J. R. C. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE): I - distribuição, probabilidade de ocorrência e período de retorno - 1ª aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 27, p.335-345, 2003.

FOSTER, G. R.; McCOOL, D. K.; RENARD, K. G.; MOLDENHAEUR, W. C. Conversion of the universal soil loss equation to SI units. **Journal of Soil and Water Conservation**, v.36, p.355-359, 1981.

GONCALVES, F. A.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; CARVALHO, D. F.; CRUZ, E. S. Índices e espacialização da erosividade das chuvas para o Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.269-276, 2006.

GRIMM, A. M. Clima na Região Sul. In: ***Tempo e Clima no Brasil***. CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. Oficina de Textos, p.259-275, 2009.

HICKMANN, C.; ELTZ, F. L. F.; CASSOL, E. A.; COGO, C. M. Erosividade das chuvas em Uruguaiana, RS, determinada pelo índice EI30, com base no período de 1963 a 1991. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.825-831, 2008.

INSTITUTO DE TERRAS, CARTOGRAFIA E FLORESTA. **Atlas do Estado do Paraná**. 1987, 73p

LOMBARDI NETO, F. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, Brazil. West Lafayette, **Purdue University**, 1977. 53p. (Tese de Mestrado)

LOPES, P. C. R. & BRITO, L. T. L. Erosividade da chuva no Médio São Francisco. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.129-133, 1993.

MACHADO, R. L.; CARVALHO, D. F.; COSTA, J. R.; OLIVEIRA, D. H.; PINTO, M. F. Análise da erosividade das chuvas associada aos padrões de

precipitação pluvial na região de Ribeirão das Lajes (RJ). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.2113-1223, 2008.

MARENGO, J. A. & VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos de IPCC AR4. **Multiciência (UNICAMP)**, v.8, p.5-28, 2007.

MARTINS, S. G.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; FERREIRA, M. M.; FONSECA, S.; MARQUES, J. J. G. S. M. Perdas de solo e água por erosão hídrica em sistemas florestais na região de Aracruz (ES). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, p.395-403, 2003.

MAZURANA, J.; CASSOL, E. A.; SANTOS, L. C.; ELTZ, F. L. F.; BUENO, A. C. Erosividade, padrões hidrológicos e período de retorno das chuvas erosivas de Santa Rosa (RS). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, p.975-983, 2009.

MELLO, G.; BUENO, C. R. P.; PEREIRA, G. T. Variabilidade espacial de perdas de solo, do potencial natural e risco de erosão em áreas intensamente cultivadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, p.315-322, 2006.

MELLO, C. R.; SÁ, M. C. A.; CURI, N.; MELLO J. M.; VIOLA, M. R.; SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 42, p.537-545, 2007.

MORAIS, L.F.B.; SILVA, V.; NASCHENVENG, T.M.C.; HARDOIN, P.C.; ALMEIDA, J.E.L.; WEBER, O.L.S.; BOEL, E. & DURIGON, V. Índice EI_{30} e sua relação com o coeficiente de chuva do sudoeste de Mato Grosso. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.15, p.339-344, 1991.

MORAIS, L.F.B.; MUTTI, L.S.M. & ELTZ, F.L.F. Relações entre características físicas da chuva e perdas de solo no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.12, p.285-288, 1988.

MOREIRA, M. C.; PRUSKI, F. F.; OLIVEIRA, T. E. C.; PINTO, F. A. C.; SILVA, D. D. Neterosividade MG: Erosividade da chuva em Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.32, p.1349-1353, 2008.

MORETI, D.; CARVALHO, M. P.; MANNIGEL, A. R.; MEDEIROS, L. R. Importantes características de chuva para a conservação do solo e da água no município de São Manuel (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.27, p.713-725, 2003.

PROCHNOW, D.; DECHEN, S. C. F.; DE MARIA, I. C.; CASTRO, O. M.; VIEIRA, S. R. Razão de perdas de terra e fator C da cultura do cafeeiro em cinco espaçamentos, em pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p.91-98, 2005.

RIBEIRO JUNIOR, P. J. & DIGGLE, P. J. GeoR: A A package for geostatistical analysis. **R-News**, 1:609-3631, 2001. On line. Disponível na Internet: <http://cran.r-project.org/doc/Rnews>. Capturado em 20 de outubro de 2009.

ROQUE, C. G.; CARVALHO M. P.; PRADO R. M. Fator erosividade da chuva de Piraju (SP): Distribuição, probabilidade de ocorrência, período de retorno e correlação com o coeficiente de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.147-156, 2001.

RUFINO, R.L.; BISCAIA, R. C. M. & MERTEN, G. H. Determinação do potencial erosivo da chuva do estado do Paraná através da pluviometria: terceira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.17, p.439-444, 1993.

SILVA, A. M.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; AVANZI, C. J.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.1811-1820, 2009 .

SILVA, J. R. C. & DIAS, A. S. A erosividade das chuvas em Fortaleza (CE): II - correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa , v. 27, p.347-354, 2003.

WILKINSON, G. E. Rainfal caracteristics an soil in the rainforest area of Western. **Experimental Agriculture.** v.2, p.247-255, 1975.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington: USDA, 58p. 1978.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains:** Guide for selection of practices for soil and water conservation. Washington, DC: USDA, Agricultural Handbook 282, 47p. 1965.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. Rainfall energi and its relationship to soil loss**. Transaction Amer. Geophis**. Union v.39(2), p.285-291, 1958.

CAPÍTULO 2 – A INFLUÊNCIA DOS FENÔMENOS CLIMÁTICOS EL NIÑO E LA NIÑA NA ESTIMATIVA DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS PARA O ESTADO DO PARANÁ

INTRODUÇÃO

El Niño Oscilação Sul (ENOS), é um fenômeno que ocorre no Oceano Pacífico e refere-se à combinação de dois mecanismos, um oceânico e outro atmosférico. O El Niño (EN), representa o componente oceânico do fenômeno, e a Oscilação Sul (OS), a contrapartida atmosférica. O fenômeno ENOS faz parte da variação irregular em torno das condições normais do oceano e da atmosfera na região do Pacífico Tropical (ACEITUNO, 1988).

Em períodos considerados normais as águas mais quentes do Pacífico Tropical concentram-se na região oeste, favorecendo a ascensão do ar que se condensa, proporcionando chuvas frequentes nessa região. Na região leste do Pacífico Tropical, ocorrem correntes de ar descendentes e uma pressão atmosférica maior que na região oeste, dando origem à uma célula de circulação secundária chamada de Célula de Circulação de Walker (OLIVEIRA, 1999). Os ventos alísios que se deslocam do sudeste do Hemisfério Sul, levam as águas quentes superficiais para a região oeste do Pacífico Tropical, ocorrendo a ressurgência das águas mais profundas e frias na região leste, ficando a termoclina (faixa de intercessão das águas quentes superficiais com as águas frias e mais profundas do oceano), mais próxima da superfície nesta região (FIGURA 2.1a).

Em condições de EN ocorre um aumento anômalo na temperatura da superfície do mar (TSM), na região central-leste do Pacífico Tropical, causando a ascensão de ar, e a diminuição da pressão atmosférica, favorecendo precipitação nessa região. Essas alterações também causam uma divisão na célula de circulação de Walker e o enfraquecimento dos ventos alísios que, em eventos mais fortes, podem até sofrer uma inversão de sentido. Nesta condição a termoclina tende a ficar mais próxima da superfície na região oeste e mais

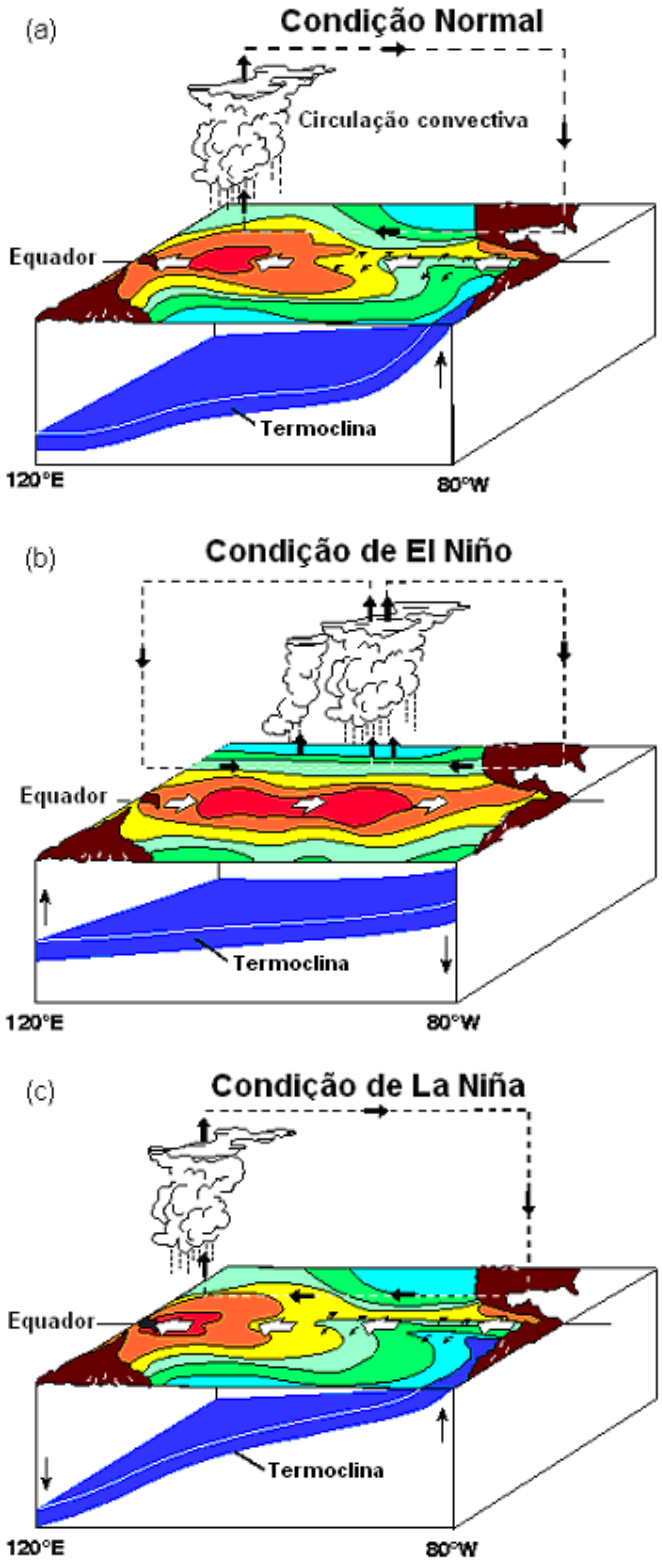


FIGURA 2.1 – ILUSTRAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS OCEÂNICA E ATMOSFÉRICA EM CONDIÇÃO NORMAL (a), CONDIÇÃO DE EL NIÑO (b), E CONDIÇÃO DE LA NIÑA (c). FONTE: ADAPTADO DE NOAA (2009).

profunda na região leste do Pacífico Tropical. Nessa situação, as águas mais frias ricas em nutrientes que são a base da alimentação da fauna marinha, ficam mais profundas, tendo como uma das consequências a redução do pescado na região (BERLATO & FONTANA, 2003), (FIGURA 2.1b).

Em condições de La Niña (LN), ocorre uma redução anômala na TSM na região central-leste do Pacífico Tropical, concentrando as águas quentes em uma região mais a oeste, causando alterações como a ascensão de ar, diminuição da pressão atmosférica e aumento das chuvas na região oeste do Pacífico Tropical (FIGURA 2.1c). Na região leste do Pacífico Tropical, a pressão atmosférica aumenta, as chuvas ficam mais escassas e a termoclina fica mais próxima da superfície. Tendo como uma das consequências o favorecimento do desenvolvimento da fauna marinha e aumentando o pescado na região (BERLATO & FONTANA, 2003).

A Oscilação Sul é a variação da diferença entre a pressão atmosférica no Pacífico central-leste e o Pacífico oeste. Quando aumenta em uma região, diminui na outra. O pesquisador inglês Gilbert Walker caracterizou este fenômeno como uma gangorra barométrica. Para determinar estas variações surgiu o Índice de Oscilação Sul (IOS), que é a diferença entre a pressão atmosférica ao nível médio do mar, medida em uma estação meteorológica no Taiti, situada nas coordenadas geográficas (17,5ºS – 149,6ºW), no Pacífico Sul, e outra estação em Darwin (Austrália), situada nas coordenadas geográficas (12,4ºS – 130,9ºE). Quando o resultado da diferença é negativo, o evento que está ocorrendo é um EN. Em contrapartida, se o resultado for positivo, é um LN.

Tanto o EN como o LN causam anomalias climáticas em várias partes mundo, inclusive no Brasil, onde o primeiro causa precipitações abundantes na Região Sul e secas nas Regiões Norte e Nordeste; já o segundo causa impactos contrários praticamente nas mesmas regiões, ocorrendo estiagens no Sul e precipitação pluvial acima da média no Norte e Nordeste (ACEITUNO, 1988). Nas outras regiões do país as alterações no clima, como chuvas, secas e variações nas temperaturas médias, são moderadas podendo, contudo ser fortes em determinados meses do ciclo ENOS (GRIMM, 2003; 2004). Estas

anomalias causam impactos ambientais e sociais, pois o excesso de chuvas nos trópicos podem proliferar doenças como leptospirose e aumentar o número de casos de malária. Já a seca pode causar fome, mortandade, desnutrição e êxodo rural. Estima-se que o EN de 1982/83 causou prejuízos globais na ordem de treze bilhões de dólares. Somente na região sul do Brasil, norte da Argentina e leste do Paraguai, estes chegaram a três bilhões de dólares, com cerca de 160 mortes e 600.000 desabrigados (OLIVEIRA, 1999).

FONTANA & BERLATO (1997), com base em séries históricas de estações meteorológicas, observaram precipitações pluviais acima da média para o estado do Rio Grande do Sul em períodos de EN, principalmente na primavera e início do verão com um repique no inverno. Durante o LN as precipitações foram abaixo das médias, principalmente na primavera e início do verão. GRIMM (1998, 2000, 2003, 2004) também encontrou alterações na precipitação na região sul do Brasil em eventos de EN, na primavera, principalmente no mês de novembro e no inverno seguinte ao início do evento. Em períodos de LN ocorreram reduções na precipitação também na primavera e principalmente em novembro e uma tendência de precipitações acima da média no mês de janeiro subsequente ao início do evento.

GRIMM & TEDESCHI (2009) encontraram alterações significativas na frequência de eventos extremos de precipitação em anos de EN e LN, para várias regiões da América do Sul, inclusive na região Sul do Brasil. Além disso, a quantidade de precipitação durante eventos extremos é também significativamente alterada em determinadas regiões e, na maioria das vezes, ocorre na estação chuvosa, o que torna o impacto mais forte, pois pode chover muito acima do esperado ou muito abaixo do esperado de acordo com o fenômeno climático.

O estado do Paraná tem seu regime hídrico alterado principalmente em eventos considerados fortes (ROPELEWSKI & HALPERT 1987; GRIMM et al., 1998). Estas alterações, consequentemente, acabam influenciando na estimativa da erosividade das chuvas, de acordo com a região do Estado. Daí a importância de se considerar estes fenômenos na estimativa do potencial erosivo da chuva. SANTOS (2008) e PAULA (2009), encontraram influência

significativa na estimativa da erosividade das chuvas, quando separaram anos de EN, LN e neutros.

Dessa forma, o objetivo do presente trabalho foi estimar a erosividade das chuvas para o estado do Paraná em períodos de EN, LN e neutros.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área de estudo

A localização e a caracterização da área de estudo já foram apresentadas no capítulo 1, assim como os métodos pluviométricos e as equações lineares utilizadas para estimar a erosividade das chuvas.

Com o objetivo de selecionar um número maior de eventos de EN e LN, o período considerado foi de 01/01/1979 a 31/01/2008. Foram utilizadas séries históricas de dados pluviométricos das mesmas 114 estações definidas no capítulo 1, porém estendendo o período de 1979 a 2008.

Caracterização dos eventos

Para avaliar a influência dos eventos climáticos EN e LN, o período de estudo foi divido em: Geral (estimativa da erosividade média mensal das chuvas considerando todo o período de estudo), Neutro (estimativa da erosividade média mensal das chuvas para o período de estudo, excluídos os meses que coincidiam com eventos de EN e LN), El Niño (estimativa da erosividade média mensal das chuvas apenas para os meses que coincidiam com eventos de EN) e La Niña (estimativa da erosividade média mensal das chuvas apenas para os meses que coincidiam com os eventos de LN).

Os períodos de EN e LN foram estabelecidos utilizando-se os critérios que definem o Índice Oceânico do Niño (ION), de acordo com NOAA (2009), para a região do Niño 3.4. Segundo estes critérios, quando a média móvel da

TSM por três meses for 0,5ºC maior que a média por um período mínimo de cinco meses, está caracterizado um EN. Quando a média móvel da TSM por três meses for 0,5ºC menor que a média por um período mínimo de cinco meses, está caracterizado um LN. A TABELA 2.1, adaptada de NOAA (2009), apresenta os períodos definidos de acordo com estes critérios.

Estatística descritiva empregada

Os dados de precipitação média mensal foram separados de acordo com os períodos (Geral, Neutro, EL Niño e La Niña). Usando as equações lineares descritas no capítulo 1 (TABELAS 1.1 a 1.8), calculou-se as erosividades médias mensais separadamente para os períodos Geral, Neutro, EL Niño e La Nina, para cada uma das 114 localidades. Os resultados descritivos para cada grupo: Valor mínimo, 1º quartil, mediana, média, 3º quartil e valor máximo, foram obtidos utilizando-se o programa estatístico R. Com o objetivo de facilitar a comparação estes resultados foram representados por gráficos mensais do tipo *box.*

Análise geoestatística

A metodologia geoestatística utilizada foi a mesma descrita no capítulo 1. Porém, os resultados para as erosividades médias mensais foram recalculados separando os meses em períodos Geral, Neutro, El Niño e La Niña.

Foram gerados mapas isoerodentes para o mês que apresentou a maior alteração positiva na erosividade em períodos de EN e para a maior alteração negativa em períodos de LN. Além destes mapas com a erosividade média mensal, também foram gerados mapas com as anomalias das erosividades das chuvas para este mês, em termos percentuais acima ou abaixo do valor médio estimado para o período de 1979 a 2008. Os mapas do presente estudo foram

gerados utilizando o programa estatístico R e o pacote geoR (Ribeiro Junior & Diggle, 2001).

TABELA 2.1 – DEFINIÇÃO DOS PERÍODOS NEUTRO (N), EL NIÑO (EN) E LA NIÑA (LN). ADAPTADO DE NOAA (2009)

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
1979	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1980	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1981	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1982	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
1983	EN	EN	EN	EN	EN	EN	N	N	N	N	N	N
1984	N	N	N	N	N	N	N	N	N	LN	LN	LN
1985	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	N	N	N
1986	N	N	N	N	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN
1987	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
1988	N	N	N	N	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
1989	LN	LN	LN	LN	LN	N	N	N	N	N	N	N
1990	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1991	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
1992	EN	EN	EN	EN	EN	EN	N	N	N	N	N	N
1993	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1994	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
1995	EN	EN	EN	EN	N	N	N	N	LN	LN	LN	LN
1996	LN	LN	LN	N	N	N	N	N	N	N	N	N
1997	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
1998	EN	EN	EN	EN	EN	N	LN	LN	LN	LN	LN	LN
1999	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN	LN
2000	LN	LN	LN	LN	LN	LN	N	N	N	LN	LN	LN
2001	LN	LN	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2002	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN	EN
2003	EN	EN	EN	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2004	N	N	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN	EN
2005	EN	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N
2006	N	N	N	N	N	N	N	EN	EN	EN	EN	EN
2007	EN	N	N	N	N	N	N	N	LN	LN	LN	LN
2008	LN	LN	LN	LN	LN	N	N	N	N	N	N	N

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na TABELA 2.2, estão os resultados da estatística descritiva dos dados de erosividade das chuvas para as 114 localidades do estado do Paraná, selecionadas para o presente estudo. A erosividade média mensal máxima considerando todos os períodos e meses foi de 3.046 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ e ocorreu no mês de janeiro na localidade de Guaraqueçaba, na região litorânea do Estado, em período de ocorrência de LN. O segundo maior valor encontrado foi de 3.043 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, muito próximo do primeiro, e ocorreu no mês de janeiro na localidade de Antonina, também na região litorânea do Estado, mas em período de EN. Os valores máximos estimados para os períodos Geral e Neutro, foram 2.769 e 2.713 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ respectivamente, e todos ocorreram na localidade de Guaraqueçaba, região litorânea do Estado no mês de janeiro.

Considerando que o período Geral compreende toda a série histórica de precipitação de 1979 a 2008, isto significa que os eventos extremos de EN e LN estão inclusos, sendo assim era de se esperar que os valores máximo e mínimo destes eventos se repetissem no período Geral. Contudo isto não ocorre devido aos coeficientes de chuva Rc, serem diferentes dependo do grupo de dados, pois ele é determinado pela precipitação média mensal do período definido, ao quadrado, dividido pela precipitação média anual. Conforme descrito no material e métodos do capítulo 1.

Surpreendeu o resultado máximo encontrado para o período de LN, no mês de janeiro, maior que os encontrados para os períodos Geral, Neutro e EN, já que era de se esperar um valor menor pois em períodos de LN a tendência é de redução das chuvas. Porém isto pode ser explicado pelo fato de que a região litorânea é pouco afetada pelos eventos de LN (GRIMM et al., 2000). Sendo que este resultado está mais relacionado com as características climáticas de ocorrência local do que com o LN. Contudo os limites superiores da erosividade podem ser muitas vezes o resultado de eventos isolados numa determinada localidade.

Os resultados apresentados para o 3º quartil são mais significativos, pois indicam que 75% das 114 localidades selecionadas apresentaram erosividade média mensal até este limite. Porém valores elevados no 3º quartil como o de 1.293 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, encontrado no período El Niño, no mês de maio, são preocupantes, pois indicam que existem 25% das 114 localidades com erosividade média mensal, superiores a estas. O valor estimado para o 3º quartil para o período Neutro, neste mesmo mês, foi de 662 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, uma diferença de quase 100%, demonstrando a influência do EN no Estado. Resultados nesta proporção também foram encontrados para os meses de abril, junho e novembro.

TABELA 2.2 – RESULTADOS DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL DAS CHUVAS PARA AS 114 LOCALIDADES SELECIONADAS, SEPARADOS EM PERÍODOS: GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA

Mês	Período	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo
		MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$					
Jan	*Geral*	727	1026	1165	1219	1316	2769
	Neutro	594	1007	1182	1240	1409	2713
	El Niño	582	860	1071	1135	1259	3043
	La Niña	664	1033	1250	1314	1442	3046
Fev	*Geral*	574	785	941	939	1016	1950
	Neutro	390	632	721	754	829	1642
	El Niño	457	806	1046	1071	1241	2313
	La Niña	704	1193	1388	1437	1606	2732
Mar	*Geral*	351	508	593	624	694	1526
	Neutro	258	421	488	535	569	1884
	El Niño	374	683	810	854	1010	1436
	La Niña	323	545	706	752	895	1713
Abr	*Geral*	199	414	628	637	860	1108
	Neutro	125	359	520	537	739	954
	El Niño	257	628	1133	1144	1656	2285
	La Niña	210	449	633	684	906	1966
Mai	*Geral*	286	528	883	824	1115	1428
	Neutro	200	411	661	662	901	1290
	El Niño	395	790	1350	1293	1760	2649
	La Niña	151	395	569	589	809	1217
Jun	*Geral*	169	360	523	519	647	932
	Neutro	140	252	377	391	492	756
	El Niño	272	672	881	892	1113	1956
	La Niña	96	305	501	496	659	988

Continua...

Cont. TABELA 2.2 – RESULTADOS DA ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL DAS CHUVAS PARA AS 114 LOCALIDADES SELECIONADAS, SEPARADOS EM PERÍODOS: GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA

Mês	*Período*	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo
		MJ mm ha^{-1} h^{-1} mês^{-1}					
Jul	*Geral*	180	292	411	414	513	705
	Neutro	197	330	460	469	578	849
	El Niño	127	270	410	396	522	788
	La Niña	87	223	262	265	308	420
Ago	*Geral*	129	233	356	333	419	571
	Neutro	154	272	415	381	479	613
	El Niño	98	201	297	282	353	508
	La Niña	56	184	259	284	373	715
Set	*Geral*	388	588	773	739	880	1040
	Neutro	492	805	1011	968	1119	1481
	El Niño	156	284	384	397	504	678
	La Niña	359	688	777	771	862	1124
Out	*Geral*	379	682	1115	1135	1467	2043
	Neutro	426	726	1302	1344	1896	2665
	El Niño	307	667	925	1011	1278	1884
	La Niña	381	576	904	923	1170	2007
Nov	*Geral*	320	592	821	805	1020	1239
	Neutro	258	523	714	692	854	1127
	El Niño	490	863	1165	1216	1539	2197
	La Niña	192	387	548	545	673	1071
Dez	*Geral*	537	836	1005	1002	1156	1478
	Neutro	455	825	981	991	1169	1520
	El Niño	447	792	931	971	1106	1702
	La Niña	441	858	1083	1070	1276	1761

Para avaliar a influência do LN na erosividade das chuvas no Estado o 1º quartil é mais significativo, pois a tendência é que a erosividade seja menor neste período quando comparado com o Neutro. Esta influência de redução na erosividade ocorreu apenas de forma mais expressiva nos meses de outubro e novembro, quando a erosividade média no período La Niña, foi aproximadamente 20% menor que no Neutro. GRIMM (1998) concluiu que a primavera (especialmente o mês de novembro) é a estação que possui a maior correlação com a redução das chuvas atrelada ao evento LN.

A redução na erosividade no mês de novembro em eventos de LN não é preocupante, o problema é que a erosividade está diretamente relacionada com a precipitação, indicando a consequente redução das chuvas neste mês,

em que normalmente ocorre o plantio da safra de verão no Paraná, podendo esta redução das chuvas, prejudicar a germinação e o desenvolvimento das culturas.

Nos gráficos tipo *box* das FIGURAS 2.2 e 2.3, é possível observar a evolução mensal da erosividade média das chuvas ao longo do ano comparando os diferentes períodos com os percentis de localidades afetadas e a respectiva erosividade média. As extremidades inferiores e superiores das caixas representam o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%), respectivamente. A linha cheia horizontal no interior da caixa representa a mediana (50%). As barras nas extremidades representam o menor e o maior valor dentro do limite para não serem considerados pontos externos, ou seja que estiverem no intervalo entre Q3 + 1,5L e Q1 – 1,5L. Onde Q3 é o 3º quartil, Q1 o 1º quartil e L a diferença entre Q3 e Q1. Os pontos abaixo ou acima das barras são pontos externos (*outliers*), também chamados de atípicos.

O gráfico do mês de janeiro (FIGURA 2.2), confirma que neste mês não se tem impacto muito significativo de ENOS na erosividade das chuvas no Paraná, pois os valores não variam significativamente entre os diferentes períodos. No mês de fevereiro tem-se um comportamento diferente entre os períodos, com destaque para o período Neutro, que ficou significativamente abaixo dos outros períodos, ficando 50% das localidades com erosividade média mensal entre 600 e 800 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, indicando que a erosividade não varia muito para a maioria das localidades neste mês em anos neutros. Já o La Niña apresentou um resultado inesperado, ficando a maioria das localidades com erosividade média maior que em períodos de El Niño. Segundo GRIMM (2004), chuvas acima da média no mês de fevereiro na região sul em anos de La Niña, podem ocorrer devido ao resfriamento anômalo da superfície na região sudeste. Para os meses de abril, maio e junho os períodos de El Niño se destacam principalmente quando comparados com os períodos Neutros. Nestes períodos os valores médios da erosividade foram significativamente maiores demonstrando mais uma vez a influência do El Niño na erosividade das chuvas no Estado. FONTANA & BERLATO (1997) e PAULA (2009), também encontraram chuvas mais intensas nos meses de abril, maio e

junho em períodos de EN, anomalia chamada pelos autores de “repique” do EN.

No mês de julho (FIGURA 2.3), destaca-se a baixa erosividade média mensal em períodos de La Niña. Neste mês é normal a baixa erosividade, como pode ser percebido nos gráficos dos períodos Geral, Neutro e El Niño. Mas os resultados apresentados mostram que em períodos de La Niña esta erosividade é ainda menor. Neste caso o problema não está relacionado com a erosividade, mas com os totais precipitados, precipitação abaixo da média pode trazer prejuízos para as culturas de inverno em períodos de La Niña.

Na avaliação dos meses de agosto, setembro e outubro os eventos El Niño e La Niña, não causaram grandes alterações na erosividade das chuvas nas localidades estudadas. Por outro lado o mês de novembro é o que apresenta as maiores alterações quando se compara os períodos de El Niño e La Niña com o período Neutro. Neste mês, em períodos de El Niño, cerca de 75% das localidades apresentam erosividade média mensal acima de 850 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, valor elevado para o período de apenas trinta dias.

Enquanto que em períodos Neutros, aproximadamente 100% das localidades apresentaram erosividade média mensal abaixo de 850 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$. Estes resultados elevados de erosividade no mês de novembro no estado do Paraná são coerentes com os encontrados por GRIMM (2003), para a precipitação em anos de EN.

Em relação ao LN os resultados também são significativos, porém relacionados com a redução na erosividade indicando precipitação abaixo da média para o mês. GRIMM (2004), também encontrou a redução mais significativa nas precipitações em anos de LN no mês de novembro. Estes resultados, além de indicar uma forte influência dos eventos climáticos EN e LN, na maioria das localidades do Estado, também devem ser considerados nos projetos de manejo e de práticas conservacionistas, principalmente por coincidir com o período de plantio e germinação da safra de verão.

O mês de dezembro apresenta resultados semelhantes aos encontrados no mês de janeiro, sem variações significativas na erosividade média mensal nos diferentes períodos.

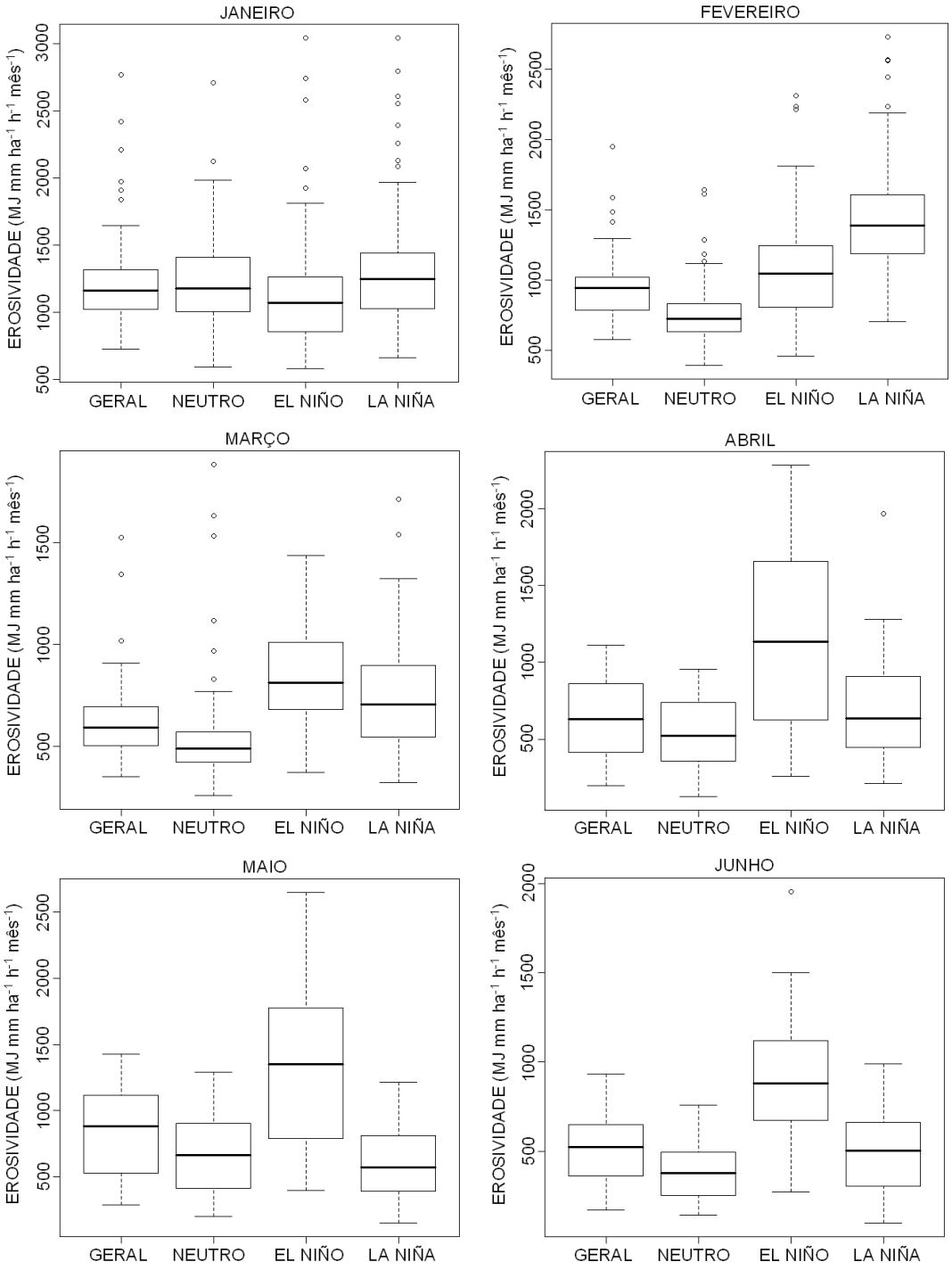


FIGURA 2.2 – GRÁFICOS TIPO BOX COM OS PERCENTIS DE LOCALIDADES E A RESPECTIVA EROSIVIDADE PARA OS PERÍODOS: GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA, PARA OS MESES DE JANEIRO, FEVEREIRO, MARÇO, ABRIL, MAIO E JUNHO.

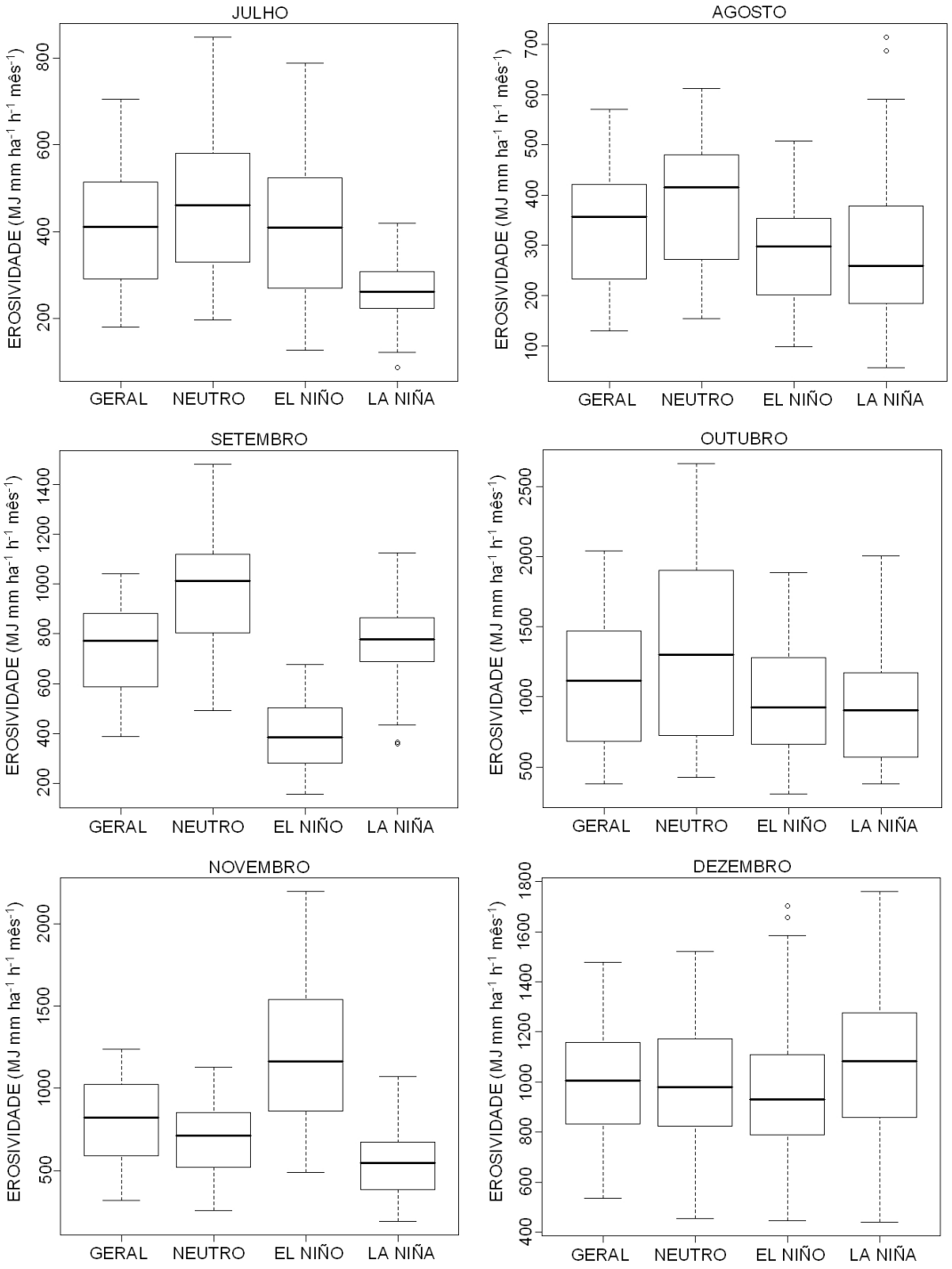


FIGURA 2.3 – GRÁFICOS TIPO BOX COM OS PERCENTIS DE LOCALIDADES E A RESPECTIVA EROSIVIDADE PARA OS PERÍODOS: GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA, PARA OS MESES DE JULHO, AGOSTO, SETEMBRO, OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO.

A TABELA 2.3 apresenta a erosividade média mensal para o mês de novembro, que foi escolhido por apresentar anomalias significativas em períodos de EN e LN e por ser o mês em que ocorre o plantio da safra de verão, na maioria das áreas agrícolas do Paraná. Esta estimativa foi calculada com dados pluviométricos de 1979 a 2008 das 114 estações selecionadas para este estudo. A mesma tabela também apresenta as anomalias, que são as diferenças entre os resultados encontrados para a erosividade em períodos de El Niño e o Geral, bem como a diferença nas erosividades em períodos de La Niña e o Geral.

As anomalias foram calculadas em MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ e em %. Esta última unidade foi escolhida para facilitar a percepção de variação das anomalias. A escolha da comparação com o período Geral em vez do período Neutro se deu pelo fato de que normalmente a erosividade é estimada em termos médios, incluindo anos de EN e anos de LN, como feito para o período chamado de Geral.

TABELA 2.3 – RESULTADOS DA EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL ESTIMADA PARA O MÊS DE NOVEMBRO, PARA OS PERÍODOS GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA E A ANOMALIA ENTRE O PERÍODO GERAL E OS PERÍODOS EL NIÑO E LA NIÑA EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ E EM (%). ESTIMATIVA COM DADOS DE 114 ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DE 1979 A 2008

N	Localidade	Geral	Neutro	El Niño	La Niña	Anom EN	Anom LN	Anom EN	Anom LN
		MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$						%	
1	Adrianópolis	321	255	535	232	214	-89	67	-28
2	Alto Piquiri	991	753	1868	638	877	-353	89	-36
3	Altonia	1142	1023	1744	756	602	-386	53	-34
4	Ampére	1070	810	2135	615	1064	-455	100	-43
5	Andirá	725	704	1003	481	278	-244	38	-34
6	Antonina	865	578	1197	872	332	7	38	1
7	Arapongas	736	717	1166	382	431	-354	59	-48
8	Assis Chateaubriand	959	840	1438	694	479	-266	50	-28
9	Bandeirantes	705	661	1179	365	474	-340	67	-48
10	Barbosa Ferraz	758	611	1328	504	570	-254	75	-34
11	Barracão	1133	739	2230	889	1097	-244	97	-22
12	Bela Vista do Paraíso	851	771	1334	536	484	-315	57	-37
13	Bituruna	706	667	1162	359	455	-347	64	-49
14	Bocaiúva do Sul	446	349	878	235	432	-211	97	-47
15	Cambará	797	658	1364	519	567	-278	71	-35
16	Campina da Lagoa	1119	971	1775	743	655	-377	59	-34
17	Campo Largo	463	339	819	351	356	-112	77	-24

Continua...

Cont. TABELA 2.3 – RESULTADOS DA EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL ESTIMADA PARA O MÊS DE NOVEMBRO, PARA OS PERÍODOS GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA E A ANOMALIA ENTRE O PERÍODO GERAL E OS PERÍODOS EL NIÑO E LA NIÑA EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ E EM (%). ESTIMATIVA COM DADOS DE 114 ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DE 1979 A 2008

N	Localidade	Geral	Neutro	El Niño	La Niña	Anom EN	Anom LN	Anom EN	Anom LN
		MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$						%	
18	Campo Mourão	853	690	1430	602	578	-250	68	-29
19	Candido de Abreu	544	510	769	372	226	-172	42	-32
20	Capanema	1091	918	1906	647	815	-444	75	-41
21	Cascavel	1134	750	2078	1000	944	-134	83	-12
22	Castro	495	409	851	309	355	-186	72	-38
23	Cerro Azul	378	282	773	205	395	-173	105	-46
24	Céu Azul	1180	958	2161	688	981	-493	83	-42
25	Cianorte	942	675	1779	681	837	-261	89	-28
26	Clevelândia	836	687	1571	443	735	-392	88	-47
27	Corbélia	1190	1069	2008	648	818	-543	69	-46
28	Coronel Vivida	983	920	1784	411	802	-572	82	-58
29	Cruz Machado	878	714	1679	458	801	-420	91	-48
30	Cruzeiro do Oeste	1013	914	1531	677	518	-337	51	-33
31	Curitiba	388	335	629	245	241	-142	62	-37
32	Dois Vizinhos	1034	655	2564	537	1530	-497	148	-48
33	Entre Rios	1190	920	2211	750	1021	-441	86	-37
34	Fênix	767	599	1296	580	529	-187	69	-24
35	Fernades Pinheiro	481	390	806	338	326	-143	68	-30
36	Formosa do Oeste	859	723	1242	719	383	-140	45	-16
37	Foz do Iguaçu	1028	693	2451	514	1423	-514	138	-50
38	Francisco Beltrão	1005	842	1817	556	812	-448	81	-45
39	General Carneiro	774	655	1438	394	664	-380	86	-49
40	Goioêre	1022	753	1908	710	886	-312	87	-31
41	Grandes Rios	981	713	1787	738	806	-243	82	-25
42	Guairá	1239	1009	1941	959	702	-280	57	-23
43	Guaraniaçu	1157	925	2157	673	1001	-484	87	-42
44	Guarapuava	796	603	1318	646	522	-150	66	-19
45	Guaraqueçaba	622	467	1035	501	413	-121	66	-19
46	Ibiporã	862	747	1423	547	560	-315	65	-37
47	Inácio Martins	718	581	1071	612	353	-106	49	-15
48	Irati	542	453	931	336	390	-206	72	-38
49	Iretama	942	768	1701	567	759	-375	81	-40
50	Itapejara do Oeste	1105	938	2166	493	1061	-612	96	-55
51	Ivaí	505	453	731	370	226	-135	45	-27
52	Ivaiporã	790	620	1245	661	455	-129	58	-16
53	Jaguariaíva	444	339	747	350	302	-94	68	-21
54	Janiópolis	925	715	1741	577	816	-348	88	-38
55	Joaquim Távora	547	470	856	382	309	-166	57	-30
56	Lapa	497	405	858	326	361	-172	73	-35
57	Laranjeiras do Sul	722	578	1249	485	527	-237	73	-33
58	Londrina	804	809	1230	408	426	-396	53	-49
59	Mallet	593	497	1001	376	408	-217	69	-37
60	Mamborê	1005	811	1857	589	853	-416	85	-41
61	Mandirituba	369	289	732	190	363	-179	98	-48

Continua...

Cont. TABELA 2.3 – RESULTADOS DA EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL ESTIMADA PARA O MÊS DE NOVEMBRO, PARA OS PERÍODOS GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA E A ANOMALIA ENTRE O PERÍODO GERAL E OS PERÍODOS EL NIÑO E LA NIÑA EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ E EM (%). ESTIMATIVA COM DADOS DE 114 ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DE 1979 A 2008

N	Localidade	Geral	Neutro	El Niño	La Niña	Anom EN	Anom LN	Anom EN	Anom LN
		MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$						%	
62	Manoel Ribas	833	704	1063	830	231	-3	28	0
63	Mariluz	932	801	1518	609	586	-323	63	-35
64	Maringá	719	643	1192	420	473	-299	66	-42
65	Mariópolis	1057	985	1664	601	607	-455	58	-43
66	Matelândia	1109	837	2068	732	959	-377	87	-34
67	Morretes	586	461	859	534	274	-52	47	-9
68	Nova Cantu	978	785	1720	641	742	-338	76	-35
69	Nova Fátima	620	506	1033	441	413	-180	67	-29
70	Palmas	722	601	1332	389	610	-334	85	-46
71	Palmeira	452	330	869	292	417	-160	92	-35
72	Palmital	967	810	1607	643	640	-325	66	-34
73	Palotina	1095	1085	1477	717	383	-378	35	-35
74	Paranacity	499	513	647	332	147	-168	30	-34
75	Paranaguá	661	547	887	636	226	-26	34	-4
76	Paranavaí	593	477	1018	413	426	-180	72	-30
77	Pato Branco	1128	926	2184	563	1056	-565	94	-50
78	Pinhão	817	642	1462	534	645	-284	79	-35
79	Piraquara	389	318	661	253	273	-135	70	-35
80	Pitanga	635	539	917	519	283	-116	45	-18
81	Planalto	1067	968	1883	522	815	-545	76	-51
82	Ponta Grossa	572	478	955	378	383	-194	67	-34
83	Porecatu	795	784	1154	474	359	-321	45	-40
84	Porto Amazonas	487	359	944	314	457	-173	94	-36
85	Porto Vitória	675	615	1043	311	369	-364	55	-54
86	Prudentópolis	597	514	944	408	346	-189	58	-32
87	Quedas do Iguaçu	1059	876	1913	612	855	-446	81	-42
88	Realeza	886	633	1955	476	1069	-410	121	-46
89	Rio Branco do Sul	411	264	883	271	472	-140	115	-34
90	Rio Negro	478	399	803	310	326	-168	68	-35
91	Roncador	1059	856	1763	751	704	-307	67	-29
92	Salto Lontra	1090	775	2264	657	1174	-433	108	-40
93	Santa Fé	589	497	940	421	351	-168	60	-29
94	Santa Helena	1211	908	2250	811	1040	-399	86	-33
95	Santa Izabel do Ivaí	663	630	814	554	151	-109	23	-16
96	Santa Izabel do Oeste	1045	832	1990	592	946	-453	91	-43
97	São Jerônimo da Serra	705	619	1122	461	417	-244	59	-35
98	São José dos Pinhais	565	496	905	350	339	-215	60	-38
99	São Mateus do Sul	591	466	1118	343	528	-247	89	-42
100	São Miguel do Iguaçu	976	765	1960	517	984	-459	101	-47
101	Tapejara	825	715	1428	477	603	-348	73	-42
102	Telêmaco Borba	619	445	1214	407	595	-212	96	-34
103	Terra Roxa	1142	897	1806	939	664	-203	58	-18
104	Tibagi	587	437	1038	441	451	-146	77	-25
105	Tijucas do Sul	419	377	691	234	272	-185	65	-44

Continua...

Cont. TABELA 2.3 – RESULTADOS DA EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL ESTIMADA PARA O MÊS DE NOVEMBRO, PARA OS PERÍODOS GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA E A ANOMALIA ENTRE O PERÍODO GERAL E OS PERÍODOS EL NIÑO E LA NIÑA EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ E EM (%). ESTIMATIVA COM DADOS DE 114 ESTAÇÕES PLUVIOMÉTRICAS DE 1979 A 2008

N	Localidade	Geral	Neutro	El Niño	La Niña	Anom EN	Anom LN	Anom EN	Anom LN
		MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$						%	
106	Toledo	900	900	1268	540	368	-360	41	-40
107	Tomazina	464	359	764	369	300	-95	65	-21
108	Tuneiras do Oeste	922	754	1756	495	834	-427	90	-46
109	Ubiratã	914	777	1414	670	499	-244	55	-27
110	Umuarama	1058	862	1858	668	801	-390	76	-37
111	União da Vitória	609	596	957	311	347	-298	57	-49
112	Vere	1080	755	2620	473	1540	-607	143	-56
113	Vitorino	1045	902	1726	647	681	-398	65	-38
114	Xambrê	934	852	1440	589	506	-345	54	-37

Nos mapas da FIGURA 2.4 é possível identificar as regiões do estado do Paraná que são mais afetadas pelos eventos de EN e LN durante o mês de novembro. Os mapas para o período Geral (a) e para o período Neutro (b), apresentam grande semelhança na distribuição das isolinhas. Contudo no mapa do período Geral elas indicam uma erosividade média mensal cerca de 200 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ maior que em períodos Neutros. Esta diferença deve-se ao fato de que na estimativa do período Neutro os períodos de El Niño e La Niña foram retirados. Embora o primeiro aumente a erosividade das chuvas e o segundo diminua, isto não foi suficiente para que um anule o outro na média histórica. Possivelmente isto deve-se ao número de eventos de EN para o período estudado ter sido maior que os de LN. Consequentemente os eventos de EN causaram maiores alterações na erosividade das chuvas do que o LN no estado do Paraná.

A FIGURA 2.4 apresenta também os mapas isoerodentes para os períodos de El Niño (c) e de La Niña (d). Percebe-se que nos anos de EN, o mês de novembro apresenta chuvas mais erosivas, principalmente nas regiões oeste e sudoeste do Estado. Nessas regiões como visto no capítulo 1, as chuvas já são naturalmente mais erosivas, o que acontece em períodos de El Niño é um aumento anômalo na erosividade. O mapa do mês de novembro de La Niña (d) mostra a redução da erosividade no Estado durante estes eventos,

não sendo um problema com relação à erosão hídrica, mas indicam também uma redução na pluviometria que pode causar prejuízos para a safra de verão.

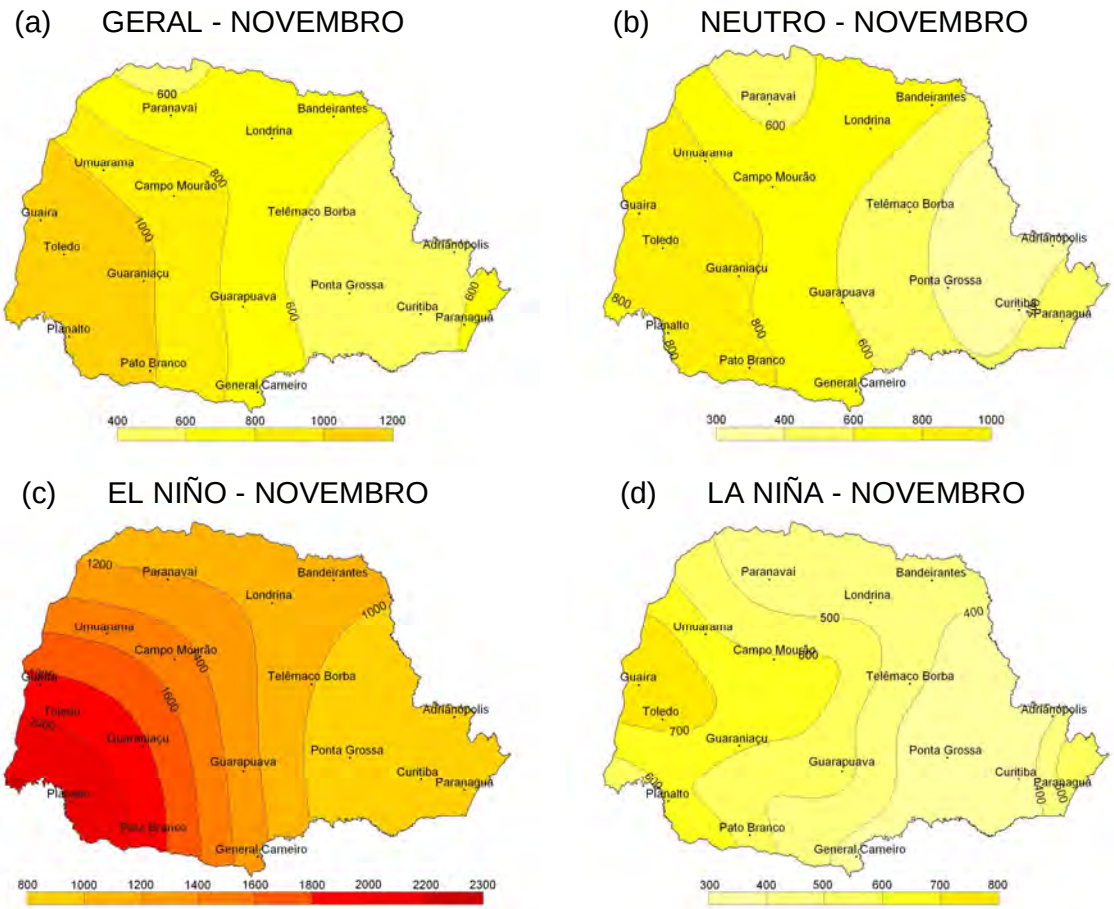


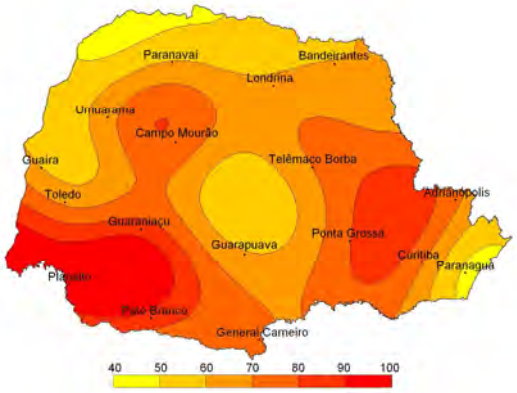
FIGURA 2.4 – MAPAS ISOERODENTES PARA O MÊS DE NOVEMBRO EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ PARA OS PERÍODOS: GERAL, NEUTRO, EL NIÑO E LA NIÑA, ESTIMADOS COM DADOS DE 1979 A 2008.

Os mapas da FIGURA 2.5 gerados com os dados percentuais de anomalias da tabela 2.3, ajudam na identificação das áreas em que ocorrem as maiores alterações como aumento de erosividade em períodos de El Niño (a) e diminuição da erosividade em períodos de La Niña (b), em comparação com a erosividade média, neste estudo identificada como a erosividade do período Geral. Os mapas das anomalias estão em termos de percentagem (%) acima (a) e abaixo (b) da erosividade média Geral. Isto significa que as regiões oeste

e sudoeste além de estarem sujeitas às chuvas mais erosivas que ocorrem no Estado em períodos de El Niño, também sofrem com as maiores anomalias, que nestas regiões chegam a ser duas vezes mais erosivas que em períodos normais.

A análise das anomalias em períodos de La Niña (FIGURA 2.5b), permite identificar que as maiores anomalias ocorrem em pequenas áreas nas regiões norte e sudeste, porém mais uma vez em uma extensa área da região sudeste, onde a erosividade chega ser 50% menor que em períodos normais.

(a) EL NIÑO ANOMALIA - NOV



(b) LA NIÑA ANOMALIA - NOV

FIGURA 2.5 – ANOMALIAS (%) MÉDIA MENSAL DURANTE EVENTOS DE EL NIÑO E LA NIÑA PARA O MÊS DE NOVEMBRO ESTIMADOS COM DADOS DE 1979 A 2008.

CONCLUSÕES

1. A erosividade das chuvas no estado do Paraná sofreram alterações significativas em todas as regiões, em períodos de El Niño e La Niña, demonstrando a influência destes eventos na estimativa do potencial erosivo das chuvas no Estado.

2. Em períodos de El Niño a erosividade das chuvas chega ser de 40 a 100% maior do que em períodos “normais” dependendo da região. Já em períodos de La Niña ocorre uma redução de 10 a 50% na erosividade das chuvas.

3. Os meses de abril, maio junho e novembro, são os mais afetados pelo aumento na erosividade das chuvas em períodos de El Niño. Em períodos de La Niña os meses de julho, outubro e novembro são os mais afetados pela redução na erosividade das chuvas.

4. O mês de novembro é o mais crítico, tanto em períodos de El Niño como em períodos de La Niña. O primeiro, pela elevada erosividade das chuvas que coincidem com o período de plantio da safra de verão, momento em que o solo está mais exposto devido ao avançado grau de decomposição dos resíduos das culturas de inverno. O segundo pela baixa erosividade causada pela redução nas chuvas justamente no período de plantio e germinação.

5. As regiões oeste e sudoeste são as mais afetadas pelo aumento na erosividade das chuvas em períodos de El Niño, assim como pela redução em períodos de La Niña.

LITERATURA CITADA

ACEITUNO, P. On the functioning of the Southern Oscillation in the South American sector. Part I: Surface climate. **Monthly Weather Review***,* v.116, p. 505–524, 1988.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña**: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura. UFRGS, 2003. 110p.

FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, p.127-132, 1997.

GRIMM, A. M. & TEDESCHI, R. G. ENSO and Extreme Rainfall Events in South America. **Journal of Climate**, v.22, p. 1589-1609, 2009.

GRIMM, A. M. How do La Niña events disturb the summer monsoon system in Brazil? **Climate Dynamics**, v.22, p.123-138, 2004.

GRIMM, A.M. The El Niño impact on summer monsoon in Brazil: Regional processes versus remote influences. **Journal of Climate**, v.16, p. 263-280, 2003.

GRIMM, A.M. BARROS, V. R.; DOYLE, M. E. Climate variability in southern South America associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate***,* v.13, p.35-58, 2000.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern Brazil associated with El Niño and La Niña events. **Journal of Climate**, v.11, p. 2863-2880, 1998.

NOAA. **ENSO: Cold and warm episodes by season**. On line. Disponível na Internet:http://www.cpc.noaa.gov/products. Capturado em 12 de julho de 2009.

OLIVEIRA, G. S. **O El Niño e Você: O Fenômeno Climático**. TRANSTEC, 116p, 1999.

PAULA, G. M. **O Fenômeno El Niño Oscilação Sul e a Erosividade das Chuvas em Santa Maria-RS**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Santa Maria, 53p. 2009.

RIBEIRO JUNIOR, P. J. & DIGGLE, P. J. GeoR: A A package for geostatistical analysis. **R-News**, 1:609-3631, 2001. On line. Disponível na Internet: <http://cran.r-project.org/doc/Rnews>. Capturado em 20 de outubro de 2009.

ROPELEWSKI, C.F. & HALPERT, M.S. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño Southern Oscillation**. Monthly Weather Review**, v.115, p. 1606- 626, 1987.

SANTOS C. N. **El Niño e La Niña e a Erosividade das chuvas no Estado do Rio Grande do Sul**. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pelotas, 138p. 2008.

CAPÍTULO 3 – PROJEÇÃO DA EROSIVIDADE DAS CHUVAS NO ESTADO DO PARANÁ, CONSIDERADA SOB CENÁRIOS DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS

INTRODUÇÃO

O clima de uma região geralmente é definido de acordo com a sua posição geográfica no globo terrestre pela estatística e também a variabilidade ao longo do tempo de variáveis como: temperatura, precipitação e vento. O termo mudanças climáticas, muito utilizado atualmente, faz referência ao desequilíbrio ou alterações que estão ocorrendo nos valores destas estatísticas, quando comparados com dados de períodos históricos. Estas mudanças normalmente têm causas naturais como o aquecimento oceânico, explosões solares, erupções vulcânicas e a interação da vegetação com a baixa atmosfera, mas de acordo com o quarto relatório do IPCC (IPCC, 2007), é muito provável com mais de 90% de chance, que a atividade humana (antrópica), também seja responsável pelas mudanças que estão ocorrendo em todo o planeta.

Diante das evidências científicas quanto às mudanças climáticas globais, em 1988 a Organização Meteorológica Mundial (OMM), juntamente com o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), criaram o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, mais conhecido pela sigla em inglês (IPCC) de *Intergovernmental Panel on Climate Change*. O IPCC recebeu a missão de apoiar e avaliar trabalhos científicos relacionados com o clima na Terra e os cenários de mudanças climáticas para o futuro. O IPCC está dividido em três grupos de trabalho: o Grupo de Trabalho (GT) 1, sobre *As Bases Científicas*, o GT2, sobre *Impactos, Adaptações e Vulnerabilidades* e o GT3, sobre *Mitigação*. O primeiro relatório foi publicado em 1990 e possibilitou uma maior interação entre os cientistas de todo o mundo. O segundo foi publicado em 1995 e forneceu as bases para a adoção do Protocolo de Quioto. O terceiro foi publicado em 2001 e apresentou fortes indícios de que a atividade humana era a principal responsável pelo aquecimento global dos

últimos 50 anos (MARENGO, 2007a). O quarto relatório, publicado em 2007, mostrou, que além das causas naturais é praticamente certa a contribuição das atividades humanas no aquecimento global e consequentes mudanças climáticas. Estas afirmações só foram possíveis devido aos avanços nos métodos estatísticos e modelos climáticos de projeção global e regional desenvolvidos desde o primeiro relatório.

As mudanças climáticas estão relacionadas principalmente com o aquecimento global, este por sua vez deve-se ao efeito estufa, que é necessário para a manutenção da vida no planeta. O problema está na concentração destes gases, que vêm aumentando exponencialmente desde a revolução industrial. Vapor d'água (H_2O), dióxido de carbono (CO_2), óxido nitroso (N_2O), metano (CH_4) e ozônio (O_3), são os principais gases de efeito estufa na atmosfera da Terra. A ocorrência natural destes gases permite que a radiação solar que penetra na atmosfera seja refletida na superfície terrestre e devolvida para o espaço de forma lenta. Se esta radiação fosse refletida diretamente para o espaço a Terra seria um planeta frio onde possivelmente não existiria vida. Contudo a atividade humana tem aumentado significativamente a concentração do CO_2, do N_2O e do CH_4 na atmosfera, causando um desequilíbrio na quantidade de energia que entra e sai da mesma. O aumento da temperatura média global é uma forma de compensar este desequilíbrio, pois a energia não pode simplesmente acumular (MARENGO, 2007b). Porém pequenas alterações nesta temperatura média global podem causar grandes perturbações como: aumento do nível do mar, ondas de calor e de frio, fortes e frequentes tempestades de chuva, neve e furações. Estas perturbações têm afetado diferentes partes do planeta e causado grandes prejuízos econômicos e de vidas. (MARENGO, 2001). Tempestades de chuva apresentam uma precipitação intensa e elevada energia cinética que favorece a desagregação das partículas de solo e consequente transporte para as partes mais baixas do terreno, ou para o leito dos corpos d’água. Este processo de erosão ocorrendo com maior frequência e intensidade em áreas de manejo inadequado do solo, pode causar prejuízos econômicos, sociais e ambientais.

O primeiro relatório do IPCC, publicado em 1990, projetou para o período de 1990 a 2005 um aumento na temperatura média global entre 0,15 e 0,30ºC por década, no quarto relatório publicado em 2007 os valores observados foram de 0,20ºC, indicando um bom nível de acerto e fortalecendo as projeções.

Os modelos atualmente utilizados para as projeções do clima futuro, têm como base os cenários de emissões de gases do efeito estufa descritos no SRES (*Special Report on Emissions Scenarios*), do IPCC (2000). No SRES os cenários estão divididos em quatro famílias: A1, A2, B1, B2. Estas quatro famílias estão subdivididas em seis grupos: A1FI, A1T, A1B, A2, B1 e B2.

No cenário da família A1, considera-se um mundo futuro com crescimento econômico muito rápido, o pico do crescimento populacional ocorrerá na metade do século XXI, ocorre a introdução rápida de novas e mais eficientes tecnologias e diminuem as desigualdades regionais de renda *per capita*. Os grupos da família A1 se distinguem pela tecnologia utilizada para a geração de energia: uso intensivo de combustíveis fósseis (A1FI), fontes de energia não fósseis (A1T) e um equilíbrio entre todas as fontes (A1B).

A família A2 descreve um mundo muito heterogêneo, com aumento crescente da população e o crescimento econômico *per capita* é mais fragmentado e lento que em outros contextos.

O cenário da família B1 é semelhante ao da A1 com relação ao crescimento populacional até meados do século XXI e o posterior declínio. Porém nesse contexto ocorre a ênfase na introdução de tecnologias limpas e eficientes com a adoção de soluções globais de sustentabilidade econômica, social e ambiental, melhorando a equidade.

No contexto da família B2 a ênfase está nas soluções locais de sustentabilidade econômica, social e ambiental, a população continua crescendo, mas a uma taxa menor que no cenário A2. Os avanços tecnológicos ocorrem mais lentamente que nos cenários A1 e B1, as soluções para reduzir as desigualdades sociais e de proteção ambiental são de caráter regional e local.

Não existe a probabilidade maior ou menor de ocorrência de um ou de outro cenário, todos são igualmente consistentes. Porém as mudanças climáticas projetadas variam de intensidade de acordo com o cenário (TABELA 3.1).

Nenhum dos cenários do SRES considera a implementação explicita da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre mudança do clima e as metas de emissões do Protocolo de Quioto (IPCC, 2007).

TABELA 3.1 – PROJEÇÃO DO AUMENTO MÉDIO DA TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE DO PLANETA E A ELEVAÇÃO MÉDIA DO NÍVEL DO MAR PARA O PERÍODO DE 2090 A 2099 EM COMPARAÇÃO COM O PERÍODO DE 1980 A 1999

Cenário	**Temperatura**		**Nível do mar**
	Melhor estimativa	**Faixa provável**	**Faixa Provável[a]**
	ºC	ºC	m
B1	1,8	1,1 – 2,9	0,18 – 0,38
A1T	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,45
B2	2,4	1,4 – 3,8	0,20 – 0,43
A1B	2,8	1,7 – 4,4	0,21 – 0,48
A2	3,4	2,0 – 5,4	0,23 – 0,51
A1FI	4,0	2,4 – 6,4	0,26 – 0,59

[a] Modelo não considera as futuras mudanças dinâmicas rápidas no fluxo de gelo.
Fonte: Adaptado de IPCC 2007: WG1-AR4

Para estes cenários, inúmeros modelos têm projetado o clima futuro nas diversas regiões do planeta. A concordância entre os modelos em relação às mudanças projetadas variam de uma região para outra, porém em muitas áreas do globo terrestre mais de 90% dos modelos existentes concordam, como acontece com a região Sul do Brasil em relação ao aumento na precipitação e na intensidade das chuvas. Pesquisas têm mostrado uma tendência de aumento nas precipitações nesta região nas últimas décadas (GROISSMAN et al., 2005; ALEXANDER et al., 2006; MARENGO & VALVERDE 2007), assim como nas projeções de clima futuro que além do aumento na precipitação, também projetam chuvas mais intensas (MARENGO, 2001, 2007; NUÑEZ, 2008). Diante destes fatos o presente trabalho teve por objetivo estimar a

erosividade futura das chuvas no estado do Paraná, considerando as projeções de precipitação para o período de 2070 a 2100.

MATERIAL E MÉTODOS

Localização e caracterização da área de estudo

A localização e a caracterização da área de estudo já foram apresentadas no capítulo 1, bem como os métodos pluviométricos e as equações lineares utilizadas para estimar a erosividade das chuvas.

O Modelo Climático Regional Utilizado

Foram utilizados dados projetados de precipitação diária gerados pelo Modelo Climático Regional (MCR) HadRM3P desenvolvido pelo Hadley Centre da Inglaterra, que tem como base o HadAM3H, da mesma instituição. O MCR utilizado compõe o sistema integrado chamado PRECIS (*Providing Regional Climates for Impact Studies*), versão 1.2 (JONES et al., 2004) desenvolvido para atender a crescente necessidade de um modelo que possibilitasse a geração de cenários climáticos futuros com alta resolução espacial e baixo custo computacional, implementado no Brasil pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

O sistema PRECIS é utilizado e consolidado como uma importante ferramenta para estudos de vulnerabilidade climática em vários países, a exemplos da Inglaterra, Índia, África do Sul e China (ALVES, 2007). Maiores detalhes sobre o sistema PRECIS pode ser obtido em JONES et al., 2004 e ALVES, 2007.

TABELA 3.2 – LOCALIDADES SELECIONADAS POR ESTAREM DENTRO DO ESTADO DO PARANÁ, ÁREA DE INTERESSE DO PRESENTE ESTUDO

Nº	Localidade	Nº	Localidade	Nº	Localidade
1	Apucarana	9	Foz do Iguaçu	17	Palmas
2	Assis Chateubriant	10	General Carneiro	18	Pato Branco
3	Cambará	11	Guarapuava	19	Prudentópolis
4	Campo Mourão	12	Irati	20	São Jerônimo da Serra
5	Castro	13	Ivaiporã	21	Telêmaco Borba
6	Cianorte	14	Lapa	22	Tibagi
7	Clevelândia	15	Londrina	23	Toledo
8	Curitiba	16	Medianeira	24	Umuarama

A área de domínio para qual o processo de modelagem foi rodado compreendeu a região entre 5ºS e 39ºS de latitude e entre 80ºW e 38ºW de longitude. A climatologia usada no modelo foi de 1961 a 1990, padrão climatológico utilizado pela OMM, pelo IPCC e pela maioria dos centros de pesquisas meteorológicas, como base para a validação de modelos. A resolução espacial foi de 50km por 50km e os cenários A2 “pessimista” e B2 “otimista”.

Os resultados referentes à precipitação diária, gerados pelo MCR, foram importados para planilhas eletrônicas e calculou-se os totais mensais para o período de 01/01/2070 a 31/12/2099 para os 24 municípios localizados no estado do Paraná (TABELA 3.2), área de interesse do presente estudo.

Estatística descritiva empregada

Os dados referentes à precipitação foram separados em quatro grupos: séries históricas das 24 estações pluviométricas para o período de 1961 a 1990, (dados observados), séries de precipitação diária estimados pelo MCR, para o período de 1961 a 1990, (climatologia do modelo), precipitação diária projetada pelo MCR, para o período de 2070 a 2099, considerando o cenário A2, e precipitação diária projetada pelo MCR, para o período de 2070 a 2099, considerando o cenário B2. A partir destas séries calculou-se a erosividade média mensal e anual utilizando-se as equações lineares descritas no capítulo

1 (TABELAS 1.1 a 1.8) para cada uma das 24 localidades. Supondo que também para os cenários futuros A2 e B2, estas equações continuam estimando a erosividade no estado do Paraná, com boa correlação com a precipitação.

Os resultados descritivos para cada grupo: Valor mínimo, 1º quartil, mediana, média, 3º quartil e valor mínimo, foram obtidos usando-se o programa estatístico R. Com o objetivo de facilitar a comparação entre os grupos, (observado, modelo, A2 e B2), estes resultados foram representados por gráficos do tipo *box*.

Análise Geoestatística

A metodologia geoestatística utilizada foi a mesma descrita no capítulo 1, mas, apenas para as 24 localidades que possuíam dados de precipitação projetados pelo MCR para cenários futuros.

Foram gerados mapas isoerodentes médios para cada mês do ano para os cenários A2 e B2, bem como, a erosividade média anual. Os mapas do presente estudo foram gerados utilizando o programa estatístico R e o pacote geoR (Ribeiro Junior & Diggle, 2001).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados relativos à precipitação média projetada para os cenários A2 “pessimista” e B2 “otimista” (TABELA 3.3), considerando o período de 2070 a 2099, mostram que para a maioria das localidades os valores médios de precipitação são maiores que os observados e os gerados pelo MCR, para o período de 1961 a 1990, ocorrendo de forma mais significativa para o cenário A2 do que para o B2, em relação aos valores médios. Comparando os resultados de precipitação e erosividade é possível notar a correlação entre eles (TABELA 3.3). Porém, uma análise mais acurada dos dados permite

constatar que para as localidades de: Assis Chateubriant, Castro, Foz do Iguaçu, Medianeira e Toledo, a precipitação foi menor no cenário A2 em relação ao B2, porém, a erosividade em A2 foi maior que em B2. Isto se deve ao fato de que para o cenário A2, os eventos extremos com chuvas acima e abaixo da média são mais frequentes e intensos e que um total precipitado maior não significa necessariamente uma erosividade maior.

A distribuição da precipitação e da erosividade ao longo dos meses do ano, para os quatro grupos de dados (Obs, Mod, A2 e B2) podem ser analisadas nas tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6, e 8 constantes do Apêndice.

TABELA 3.3 – PRECIPITAÇÃO MÉDIA OBSERVADA (Obs) NO PERÍODO DE 1961 A 1990, PRECIPITAÇÃO MÉDIA ESTIMADA PELO MCR (Mod) PARA O PERÍODO DE 1961 A 1990, PRECIPITAÇÃO MÉDIA PROJETADA PELO MCR PARA OS CENÁRIOS A2 E B2 PARA O PERÍODO DE 2070 A 2099 E A EROSIVIDADE ESTIMADA CONSIDERANDO ESTES PADRÕES DE PRECIPITAÇÃO

N	Localidade	Precipitação				Erosividade			
		Obs	Mod	A2	B2	Obs	Mod	A2	B2
		(mm)				(MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1})			
1	Apucarana	1641	2545	1637	2982	7944	13153	9917	14652
2	Assis Chateubriant	1694	1726	1838	1989	10447	11116	12568	12515
3	Cambará	1360	1035	1321	1133	7334	6920	8451	7121
4	Campo Mourão	1609	1695	2281	2003	10339	11789	15404	13452
5	Castro	1551	1413	1544	1744	6785	6702	8045	7968
6	Cianorte	1673	1131	1958	1295	10650	8803	14863	9720
7	Clevelândia	2127	1594	2076	1816	9698	8057	10113	8787
8	Curitiba	1436	1673	1858	2000	5534	6758	7867	8027
9	Foz do Iguaçu	1476	1798	1937	2008	9298	11220	12779	12370
10	General Carneiro	1729	1983	1880	2356	8162	9647	9192	11043
11	Guarapuava	1731	2335	2273	2730	7194	9956	10087	11334
12	Irati	1560	1239	2515	1553	6641	6701	10968	7092
13	Ivaiporã	1710	1258	1261	1484	9603	8501	8627	9420
14	Lapa	1424	1206	1858	1509	5372	4914	7867	5993
15	Londrina	1592	1171	1670	1320	7831	7152	9933	7612
16	Medianeira	1885	1798	1929	2001	11317	11220	12820	12403
17	Palmas	1809	2074	1880	2458	8452	10021	9192	11380
18	Pato Branco	2027	1625	2076	1901	11160	9903	12225	11023
19	Prudentópolis	1504	1254	1584	1570	8598	8061	9834	9478
20	São Jerônimo da Serra	1569	1171	1578	1320	7723	7152	9531	7612
21	Telêmaco Borba	1431	1224	2236	1513	6432	6088	10945	7132
22	Tibagi	1614	1224	2213	1513	7002	6088	10878	7132
23	Toledo	1396	1871	1838	1989	8971	11840	12568	12515
24	Umuarama	1752	1732	1715	2050	10986	11967	13082	13860

A comparação dos parâmetros descritivos (Mínimo, 1º Quartil, Mediana, Média, 3º Quartil e Máximo) estimados para a erosividade das chuvas no período observado, com os cenários A2 e B2 projetados pelo MCR, permite constatar a tendência de aumento da erosividade anual estimada até 2100. O cenário A2 projeta os resultados maiores em relação ao cenário B2. Estes por sua vez, para a maioria das localidades são superiores aos resultados observados, considerando as estimativas feitas com dados de 1961 a 1990 (TABELA 3.4). Nesta tabela a erosividade observada (Obs) e a gerada pelo modelo (Mod), foram estimadas com dados de precipitação de 1961 a 1990 de cada localidade e os cenários A2 e B2 com dados de precipitação projetados para o período de 2070 a 2099.

A avaliação dos resultados médios para os meses de verão (DJF), indica que o padrão de aumento da erosividade é similar ao encontrado para a média anual, exceto para o valor mínimo no cenário B2, que foi menor que o observado. Este resultado pode ter ocorrido devido à tendência de aumento na erosividade constatada no período de 1986 a 2008, como visto no capítulo 1, não ter sido considerada no MCR que utilizou dados climatológicos de entrada que são do período de 1961 a 1990, ou porque o MCR subestimou a precipitação projetada para o cenário B2 em alguma das localidades selecionadas para este estudo. Outro resultado importante são os estimados para os meses de inverno (JJA), em que os parâmetros descritivos indicam a tendência de menor erosividade nesses meses para os cenários A2 e B2. Diante destes resultados, pode-se de maneira geral dizer que o MCR utilizado (HadRM3P), projeta para 2100 verões com chuvas mais intensas e invernos mais secos, sendo estas tendências mais significativas para o cenário A2 em relação ao B2. Estes resultados concordam com os encontrados por Vera et al. (2006), para a região subtropical da América do Sul.

Nos gráficos tipo *box*, as extremidades inferiores e superiores dos boxes representam o 1º quartil (25%) e o 3º quartil (75%), respectivamente. A linha cheia horizontal no interior da caixa representa a mediana (50%). As barras nas extremidades representam o menor e o maior valor dentro do limite para não

serem considerados pontos externos. Os pontos abaixo ou acima das barras são pontos externos (*outliers*), também chamados de atípicos.

Na FIGURA 3.1a, é possível observar a tendência de evolução da erosividade média das chuvas projetada para os cenários A2 e B2, tendo como comparação o período observado (Obs) e o gerado pelo modelo (Mod) para o período de 1961 a 1990, considerando os percentis de localidades afetadas, e a respectiva erosividade média.

TABELA 3.4 – PARÂMETROS DESCRITIVOS DA EROSIVIDADE, ESTIMADOS PARA 24 LOCALIDADES DO ESTADO DO PARANÁ, CONSIDERANDO OS CENÁRIOS: (Obs), (Mod), (A2) E (B2). DIVIDIDOS EM TRÊS PERÍODOS: ANUAL, INVERNO (JJA) E VERÃO (DJF)

Período	Cenário	Mínimo	1º Quartil	Mediana	Média	3º Quartil	Máximo
		MJ mm ha^{-1} h^{-1}					
Anual[a]	Obs	5372	7146	8307	8478	9858	11317
	Mod	4914	6880	8652	8905	11142	13153
	A2	7867	9192	10100	10740	12568	15404
	B2	5993	7612	9599	9985	12378	14652
Inverno[b] (JJA)	Obs	261	343	470	474	583	821
	Mod	198	249	349	371	528	567
	A2	157	201	282	288	372	474
	B2	209	253	363	380	512	612
Verão[b] (DJF)	Obs	657	837	909	986	1139	1435
	Mod	613	987	1231	1264	1362	2509
	A2	947	1288	1606	1600	1885	2731
	B2	640	1098	1312	1403	1548	2761

[a] Neste período a unidade para os resultados está em (MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}) por se tratar da soma da erosividade média estimada para cada mês do ano.
[b] Neste período a unidade para os resultados está em (MJ mm ha^{-1} h^{-1} mês^{-1}) por se tratar de valores mensais.

A comparação dos resultados observados (Obs), com os gerados pelo modelo (Mod), permite constatar que a distribuição e a quantidade de precipitação gerada pelo MCR utilizado, superestima um pouco a erosividade média anual (FIGURA 3.1a). Para o cenário A2, 50% dos municípios tiveram a erosividade média projetada superior a 10.000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, destes 25% apresentaram resultados entre 12.500 e 15.400 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, índices extremamente elevados principalmente se comparados com os observados, onde cerca de 75% das localidades apresentaram erosividade média estimada inferior a 10.000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} e os outros 25% não

passaram de 11.400 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}. Para o cenário B2, o aumento da erosividade projetada também é significativo, mas os valores não chegam a extremos tão elevados quanto no cenário A2. Entretanto ambos cenários apresentam uma erosividade elevada para o futuro. Concordando com os resultados encontrados por MARENGO et al. (2009), que para a região do presente estudo, projetam eventos extremos de precipitação com maior frequência para o período de 2070 a 2100, para os cenários A2 e B2. Sendo que para o cenário A2, esta tendência é mais expressiva.

Para os meses de inverno (FIGURA 3.1b), considerando o cenário A2 projeta-se uma tendência de redução da erosividade estimada, em que 75% das localidades apresentam erosividade menor que 380 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, enquanto que para o período observado apenas 25% dos municípios apresentaram erosividade inferior a esta. Para o cenário B2 a tendência média também é de redução, mas não tão significativa quanto para o A2. Comparando os resultados obtidos com os dados observados (Obs) com os gerados pelo modelo (Mod), percebe-se nos dados de precipitação gerados pelo MCR, que a erosividade é subestimada para os meses de inverno (JJA), para as localidades no estado do Paraná.

Como já discutido nos capítulos anteriores, a redução da erosividade não é um problema, pois isto indica uma diminuição na taxa de erosão hídrica, contudo o fato da erosividade estar diretamente relacionada com a precipitação também indica a tendência de invernos mais secos, que podem trazer transtornos para as culturas de inverno, a geração de energia e o fornecimento de água potável.

Para os meses de verão (FIGURA 3.1c) são projetados os resultados mais elevados de erosividade, neste período para o cenário A2, 50% das localidades apresentaram erosividade média mensal superior a 1.600 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, enquanto que para o período observado 100% das localidades apresentaram resultados inferiores a 1.450 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}. O cenário B2 assim como nos períodos anteriores apresentou resultados intermediários entre o observado e o A2, confirmando a tendência de aumento na erosividade das chuvas para 2100, nos meses de verão.

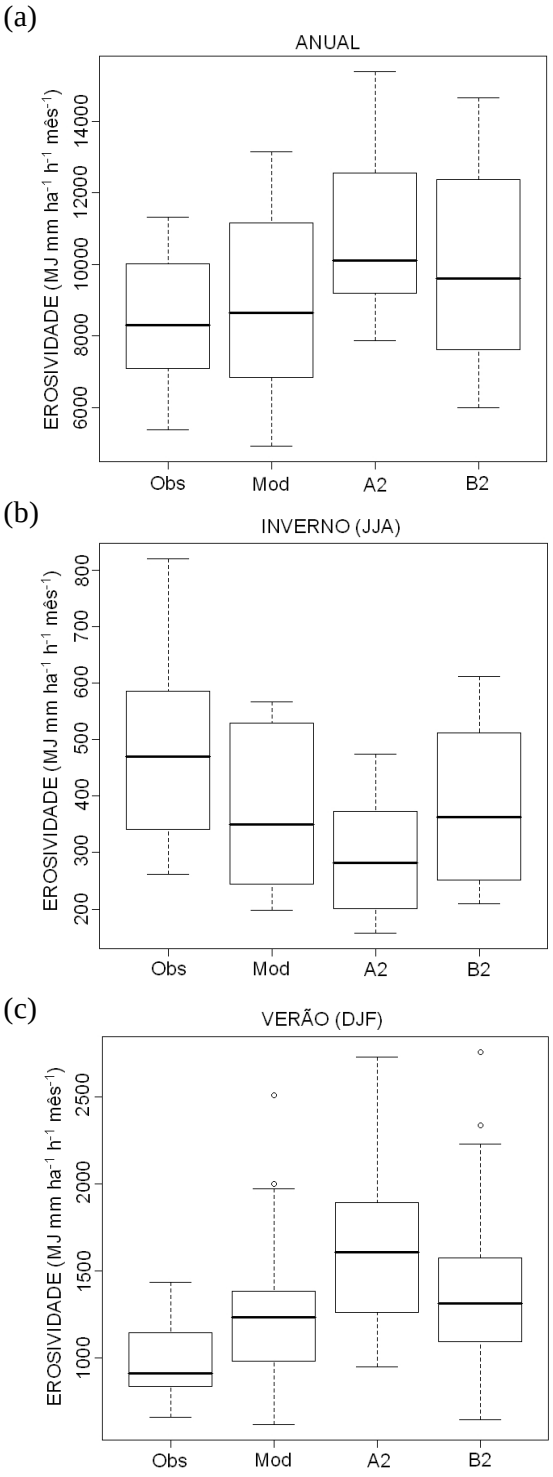


FIGURA 3.1 – GRÁFICOS TIPO *BOX*, COM OS PERCENTIS DE LOCALIDADES E A RESPECTIVA EROSIVIDADE TOTAL ANUAL, MÉDIA DOS MESES DE INVERNO (JJA) E MÉDIA DOS MESES DE VERÃO (DJF), PARA O PERÍODO CLIMATOLÓGICO DE 1961 A 1990 E OS CENÁRIOS FUTUROS A2 E B2. OS GRÁFICOS CORRESPONDEM AOS DADOS DE 24 LOCALIDADES DESCRITAS NA TABELA 3.2.

A comparação dos resultados observados (Obs), com os gerados pelo modelo (Mod), permite constatar que para a maioria das localidades consideradas neste estudo, o MCR superestima a precipitação nos meses de verão, contribuindo para uma erosividade também superestimada.

O cenário futuro A2 é o que apresenta os resultados projetados mais elevados para a erosividade, conforme constatado pelos dados da estatística descritiva (TABELA 3.4) e (FIGURA 3.1). Os mapas isoerodentes possibilitam, utilizando-se da geoestatística, a análise espacial da distribuição da erosividade (FIGURA 3.2). Desta forma é possível perceber que os valores mais elevados de erosividade estimados para 2100 concentram-se nas regiões oeste e sudoeste do Estado coincidindo com as regiões em que foram estimadas as maiores médias de erosividade anual para o período observado de 1986 a 2008, visto no capítulo 1 (FIGURA 1.4). A principal diferença está nos valores estimados, que para os cenários A2 e B2 chegam a 15.000 e 13.400 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, respectivamente, enquanto para o período observado não passa de 12.100 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}. Outra diferença pode ser percebida na região litorânea, que para os cenários A2 e B2, foram estimados em 8.000 e 9.000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1} aproximadamente, valores menores que os 10.000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano $^{-1}$ estimados para a região, para o período observado. Isto ocorreu pela ausência de dados projetados pelo MCR para localidades na região litorânea.

Os mapas isoerodentes mensais permitem avaliar a erosividade das chuvas, bem como a sua distribuição espacial nas diferentes regiões do Estado. A partir do mês de janeiro a erosividade estimada para os cenários A2 e B2, começa a diminuir embora ainda apresente resultados elevados, principalmente para a região noroeste com valores em torno de 2.600 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ para A2 e 2.000 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ para B2 (FIGURA 3.3). Estes resultados são preocupantes pois os solos da região noroeste são formados a partir de rochas sedimentares arenosas da Formação Caiuá, resultado de um processo de sedimentação eólica. Portanto naturalmente suscetíveis à erosão.

A análise para dos meses de inverno mostra que a erosividade vai diminuindo de forma mais acentuada para o cenário A2. Em abril o cenário B2 já começa apresentar isolinhas com valores superiores aos projetados para o cenário A2, isto já era esperado, pois na análise descritiva concluiu-se que este cenário configura invernos mais secos do que aqueles projetados para o cenário B2. Os valores mais elevados que se concentraram na região noroeste foram se deslocando para oeste e, em junho, passam a se concentrar na região sudoeste (FIGURA 3.4).

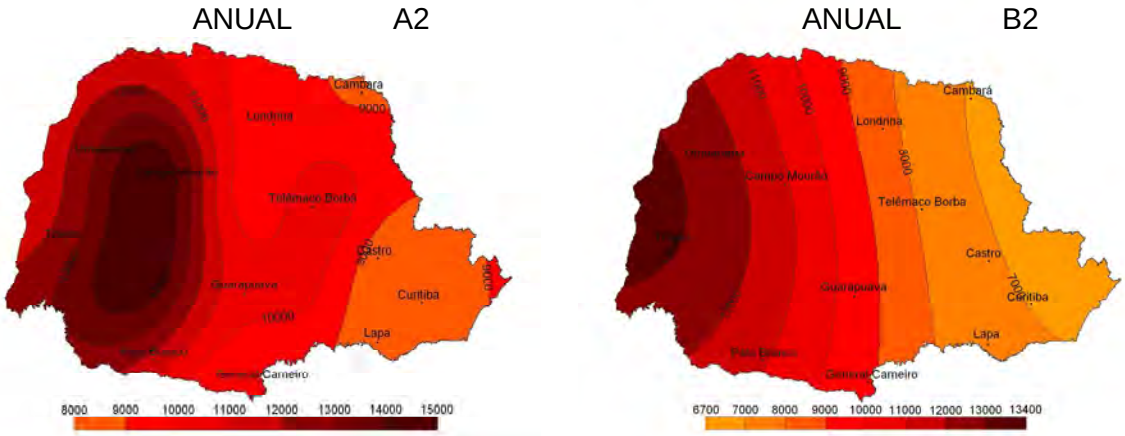


FIGURA 3.2 – MAPAS ISOERODENTES REPRESENTANDO A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA EROSIVIDADE ANUAL ESTIMADA EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}, CONSIDERANDO OS CENÁRIOS FUTUROS A2 E B2.

O mês de julho é o que apresentou a menor erosividade estimada para os dois cenários com valores variando entre 100 e 400 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$. A distribuição espacial da erosividade também não varia significativamente entre os cenários A2 e B2 neste mês. Nos meses de agosto e setembro, a erosividade começa aumentar, mais os valores ainda são baixos permanecendo os índices mais elevados na região sudoeste do Estado (FIGURA 3.5).

A partir do mês de outubro a erosividade chega em valores significativamente mais altos e o cenário A2 volta apresentar valores de erosividade superiores aos do cenário B2. No mês de novembro os valores

mais elevados de erosividade se concentram na região sudoeste e as diferenças entre os cenários A2 e B2 tornam-se mais expressivas. O mês de dezembro é o mais erosivo chegando a valores superiores a 3.200 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ para o cenário A2 e superiores a 2.300 MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ para o cenário B2. Neste mês a área mais afetada volta ser a região noroeste para os dois cenários. Coincidindo os valores mais elevados de erosividade, com a região que possui solos naturalmente mais suscetíveis à erosão.

Diante da importância de se avaliar a distribuição espacial da erosividade para o período climatológico (1961 – 1990), Foram elaborados mapas isoerodentes mensais estimados com os dados observados e os gerados pelo modelo, Apêndice (FIGURAS 1, 2, 3 e 4), bem como, os mapas isoerodentes, sazonais e anual, Apêndice (FIGURAS 5, 6, 7, 8 e 9). Nestes mapas é possível identificar os meses e as regiões em que ocorrem as maiores divergências entre a climatologia observada e a gerada pelo modelo.

Ainda existem muitas incertezas sobre como será o clima para os próximos 100 anos. Tais incertezas devem-se principalmente às diversas possibilidades de cenários futuros de emissões de gases de efeito estufa e a dificuldade que os modelos têm para representar os processos físicos da natureza (MARENGO, 2007b).

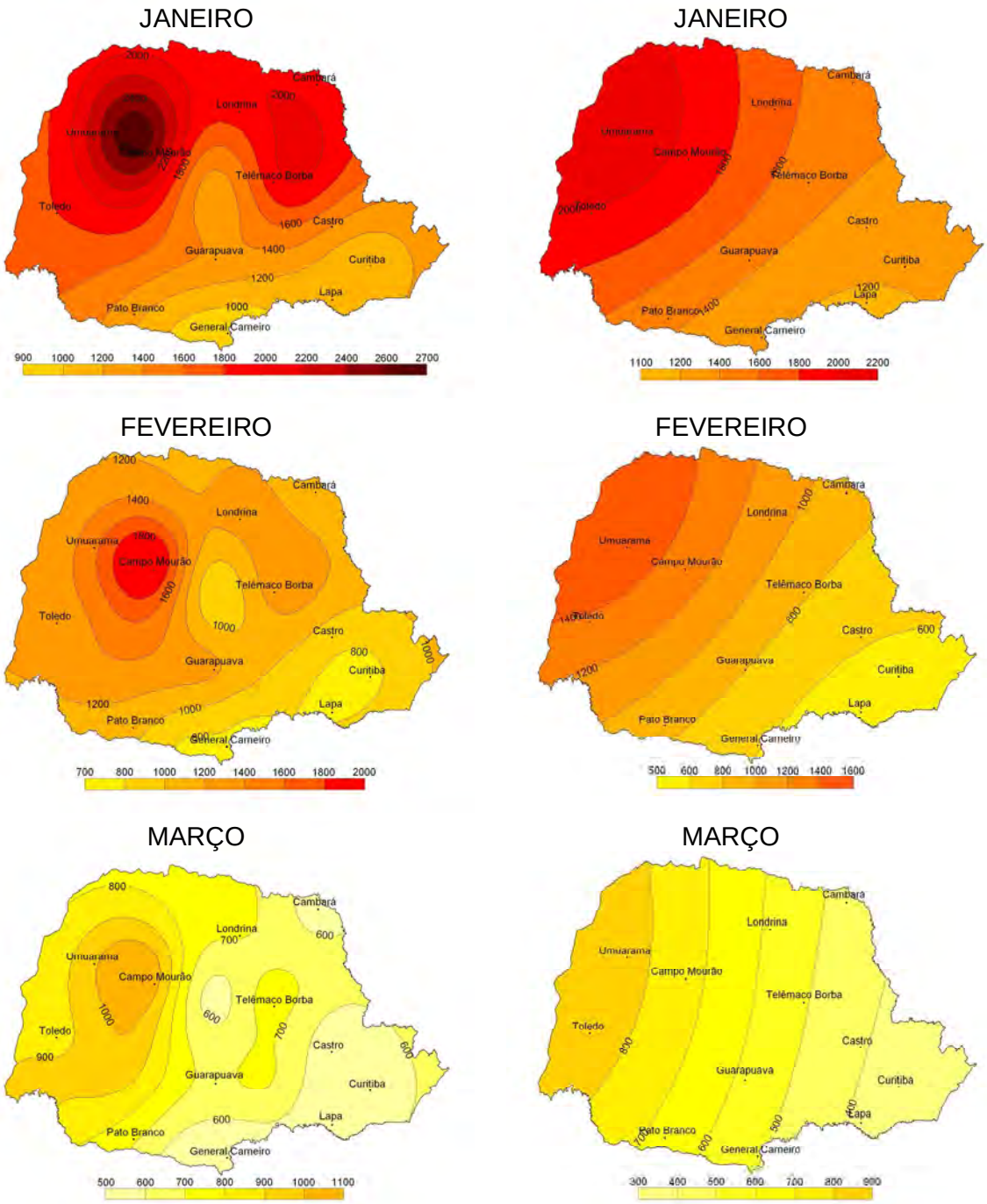


FIGURA 3.3 – MAPAS COMPARATIVOS DAS EROSIVIDADES MENSAIS ESTIMADAS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, CONSIDERANDO OS CENÁRIOS FUTUROS A2 (LADO ESQUERDO) E B2 (LADO DIREITO), PARA OS MESES DE JANEIRO, FEVEREIRO E MARÇO.

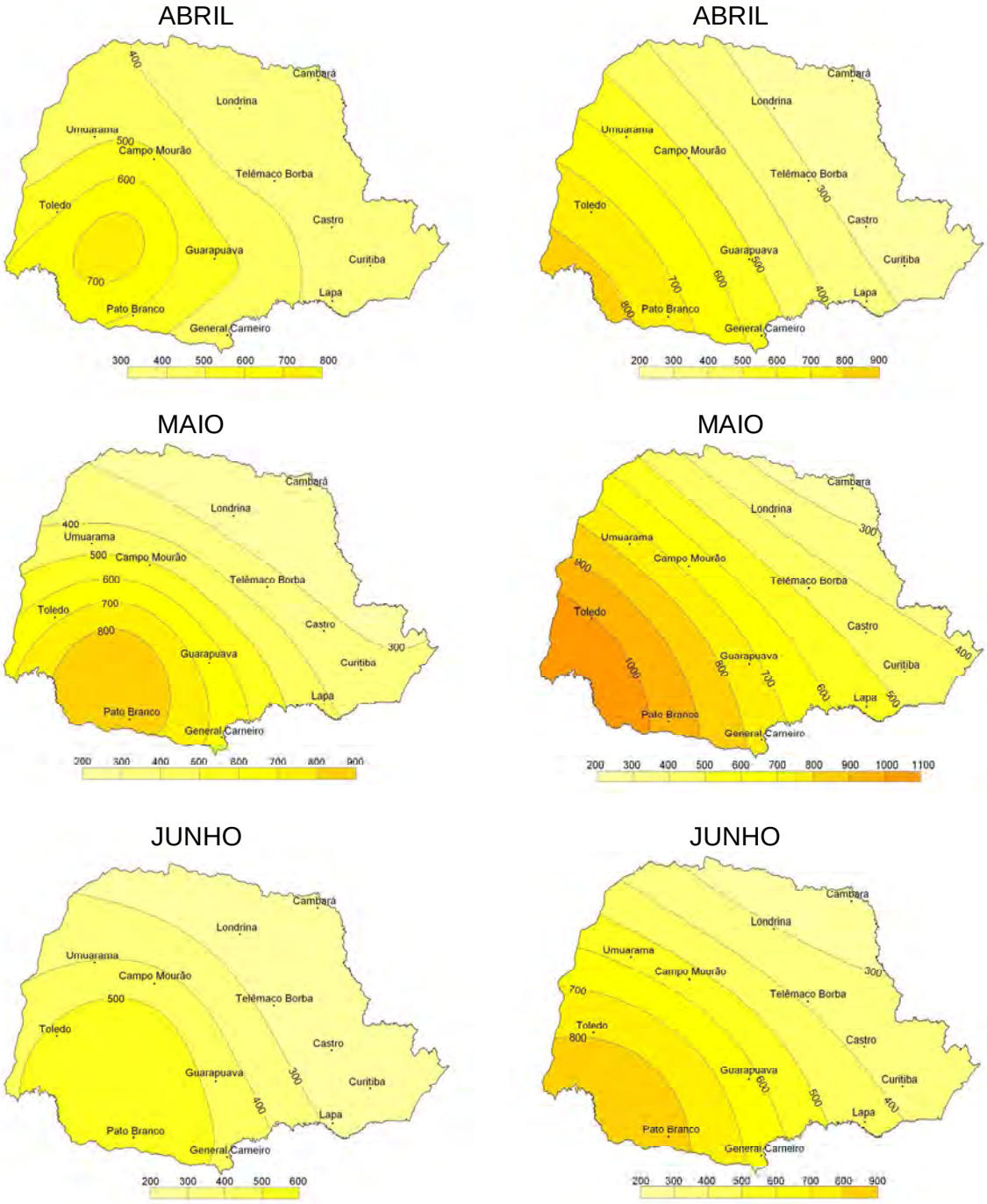


FIGURA 3.4 – MAPAS COMPARATIVOS DAS EROSIVIDADES MENSAIS ESTIMADAS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, CONSIDERANDO OS CENÁRIOS FUTUROS A2 (LADO ESQUERDO) E B2 (LADO DIREITO), PARA OS MESES DE ABRIL, MAIO E JUNHO.

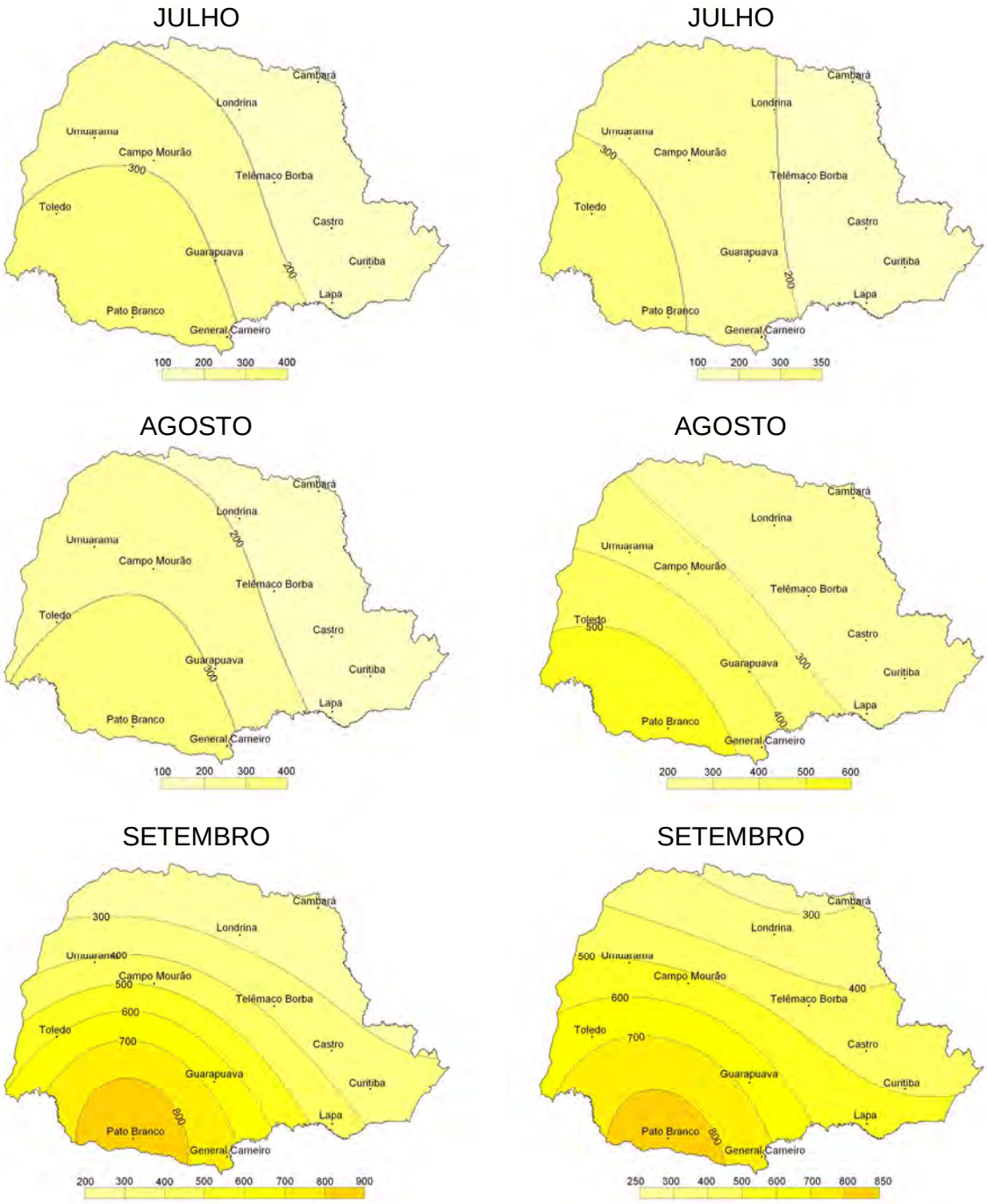


FIGURA 3.5 – MAPAS COMPARATIVOS DAS EROSIVIDADES MENSAIS ESTIMADAS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, CONSIDERANDO OS CENÁRIOS FUTUROS A2 (LADO ESQUERDO) E B2 (LADO DIREITO), PARA OS MESES DE JULHO, AGOSTO E SETEMBRO.

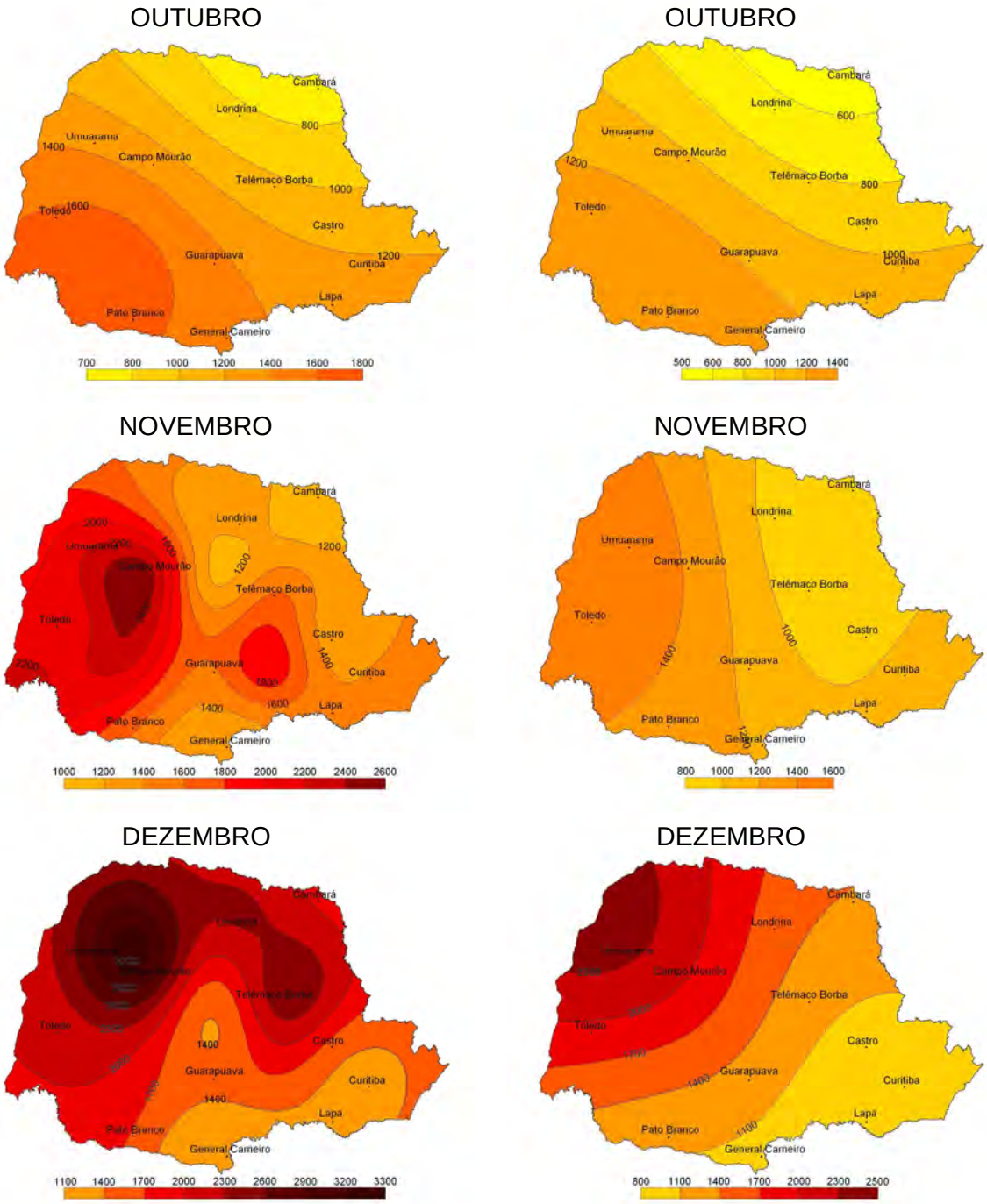


FIGURA 3.6 – MAPAS COMPARATIVOS DAS EROSIVIDADES MENSAIS ESTIMADAS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$ CONSIDERANDO OS CENÁRIOS FUTUROS A2 (LADO ESQUERDO) E B2 (LADO DIREITO), PARA OS MESES DE OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO.

CONCLUSÕES

1. O modelo climático regional (MCR), utilizado no presente estudo (HadRM3P) superestima a precipitação para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, para a maioria das 24 localidades do Paraná, selecionadas para este estudo, o que resultou em uma erosividade média para estes meses também superestimada para os cenários futuros A2 “pessimista” e B2 “otimista”, considerando os dados de precipitação projetados para o período de 2070 a 2099. Indicando verões com chuvas mais frequentes e intensas. Sendo as chuvas para o cenário A2, mais erosivas que para o cenário B2.

2. O MCR subestima a precipitação para os meses de junho, julho e agosto, para a maioria das 24 localidades selecionadas, subestimando também a erosividade para estes meses, que apresentaram índices mais baixos que os estimados para o período observado de 1961 a 1990, deixando de ser um problema com relação às perdas de solo por erosão hídrica, mas indicando possíveis períodos com secas mais severas no inverno, principalmente para o cenário A2.

3. Embora a erosividade tenha sido subestimada para os meses de inverno, considerando os cenários futuros A2 e B2, ela não foi suficiente para neutralizar os resultados superestimados do verão. Sendo assim, para os cenários A2 e B2, são projetados valores elevados de erosividade para o período de 2070 a 2099, principalmente nas regiões noroeste, oeste e sudoeste do estado do Paraná.

4. As incertezas existentes em relação aos possíveis cenários e as dificuldades dos modelos em representar os processos físicos da natureza, não devem servir de justificativa para que práticas conservacionistas não sejam adotadas desde já, pois elas ajudariam a reduzir prejuízos com eventos extremos que podem ocorrer com maior frequência nas próximas décadas.

LITERATURA CITADA

ALEXANDER, L. V,; ZHANG, X.; PETERSON, T. C.; CAESAR, J.; GLEASON, B.; KLEIN TANK, A.; HAYLOCK, M.; COLLINS, D.; TREWIN, B.; RAHIMZADEH, F.; TAGIPOUR, A.; AMBENJE, P.; RUPA KUMAR, K.; REVADEKAR, J.; GRIFFITHS, G.; VINCENT, L.; STEPHENSON, D.; BURN, J.; AGUILAR, E.; BRUNET, M.; TAYLOR, M.; NEW, M.; ZHAI, P.; RUSTICUCCI, M.; VAZQUEZ-AGUIRRE, J. L. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. **Journal of Geophysical Research** v.111, D05109, DOI:10.1029/2005JD006290, 2006.

ALVES, L. M. **Simulações da variabilidade do clima presente sobre a América do Sul utilizando um modelo climático regional**. Dissertação de mestrado. INPE, 92p, 2007.

GROISMAN, P. Y., R. W. KNIGHT, D. R. EASTERLING, T. R. KARL, G. C. HEGERL, V. N. RAZUVAEV. Trends in intense precipitation in the climate record, **Journal of Climate**. v.18, p.1326-1350, 2005.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis Summary for Policymakers Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 25p, 2007.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Emission scenarios, a special report of working group III of the intergovernmental on climate change (SRES)**. 599p, 2000.

JONES, R.G.; NOGUER, M.; HASSELL, D.C.; HUDSON, D.; WILSON, S.S.; JENKINS, G.J; MITCHELL, J.F.B. **Generating high resolution climate change change scenarios using PRECIS**. Exeter, UK: Met Office Hadley Centre, 2004.

MARENGO, J. A.; JONES, R.; ALVES, L. M.; VALVERDE, M. C. Future change of temperature and precipitation extremes in South America as derived from the PRECIS regional climate modeling system. **International Journal of Climatology**. DOI: 10.1002/JOC1863, 2009.

MARENGO, J. A. & VALVERDE, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos de IPCC AR4. **Multiciência (UNICAMP)**, v.8, p.5-28, 2007.

MARENGO, J. A. **Caracterização do clima no Século XX e Cenários Climáticos no Brasil e na América do Sul para o Século XXI derivados dos Modelos Globais de Clima do IPCC.** Relatório 1**,** Ministério do Meio Ambiente – MMA, Secretaria de Biodiversidade e Florestas – SBF, Diretoria de Conservação da Biodiversidade – DCBio Mudanças Climáticas Globais e Efeitos sobre a Biodiversidade – Sub projeto: Caracterização do clima atual e

definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI. 181p, 2007a.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade - Caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do Século XXI.** Ministério do Meio Ambiente. v.1, 214p 2007b.

MARENGO, J. A. Mudanças Climáticas Globais e Regionais: Avaliação do Clima Atual do Brasil e Projeções de Cenários Climáticos do Futuro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.16 p.01-18, 2001.

NUÑEZ, M.; SOLMAN, S.; CABRÉ, S. Regional climate change experiments over southern South America. II: climate change scenarios in the late twenty first Century. **Climate Dynamics**, DOI: 10.1007/s00382-008-0449-8, 2008.

RIBEIRO JUNIOR, P. J. & DIGGLE, P. J. GeoR: A A package for geostatistical analysis. **R-News**, 1:609-3631, 2001. On line. Disponível na Internet: <http://cran.r-project.org/doc/Rnews>. Capturado em 20 de outubro de 2009.

VERA C, SILVESTRI G, LIEBMANN B, GONZÁLEZ P. Climate change scenarios for seasonal precipitation in South America from IPCC-AR4 models. **Geophysical Research Letters.** v.33: L13707, DOI:10.1029/2006GL025759, 2006.

CONCLUSÃO GERAL

O estado do Paraná possui duas regiões em que as chuvas são consideravelmente mais erosivas: a região litorânea, no mês de janeiro, e a região sudoeste, no mês de outubro. Os resultados obtidos nesta pesquisa indicam uma tendência de aumento na erosividade das chuvas. Esta tendência pode ser efeito das mudanças climáticas que estão ocorrendo, pois de acordo com o modelo climático utilizado neste estudo, as projeções para o período de 2070 a 2099, são de um aumento significativo nas precipitações para os meses de verão e uma redução para os meses de inverno. Embora estas mudanças tenham sido projetadas para os cenários A2 e B2, elas são mais expressivas para o A2. Utilizando equações lineares que correlacionam a precipitação com a erosividade, foi possível estimar para o período de 2070 a 2100 uma erosividade para o Estado, consideravelmente maior que a estimada, para o período observado de 1986 a 2008.

O evento climático El Niño no estado do Paraná, causa chuvas mais erosivas, principalmente no mês de novembro de sua ocorrência, enquanto o La Niña causa uma redução na erosividade das chuvas também no mês de novembro de sua ocorrência. Estas alterações não ficam evidentes quando a estimativa da erosividade é feita sem distinguir períodos de El Niño, La Niña e neutros. O conhecimento destes resultados permite um planejamento mais adequado das técnicas de manejo e das práticas conservacionistas, de acordo com o evento que está ocorrendo.

APÊNDICE

TABELA 1 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL OBSERVADA NO PERÍODO DE 1961 A 1990

Localidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
	MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$												
Apucarana	213	166	148	97	126	114	79	68	108	161	152	210	1641
Assis Chateubriant	174	161	115	129	152	131	100	98	128	174	143	189	1694
Cambará	187	171	156	74	79	73	48	49	71	135	134	183	1360
Campo Mourão	161	175	125	114	129	120	69	78	128	165	133	211	1609
Castro	196	156	134	97	119	110	92	78	123	145	131	172	1551
Cianorte	198	160	133	127	138	108	73	88	132	160	137	217	1673
Clevelândia	198	172	145	169	184	182	156	161	175	220	177	188	2127
Curitiba	171	146	133	94	99	105	89	74	115	131	124	154	1436
Foz do Iguaçu	143	110	109	135	114	112	75	115	140	153	136	135	1476
General Carneiro	165	169	134	112	143	133	125	119	148	172	148	159	1729
Guarapuava	176	164	141	123	134	134	122	104	148	164	146	174	1731
Irati	171	143	142	103	125	117	106	88	124	150	138	152	1560
Ivaiporã	194	174	134	119	134	123	90	87	137	169	151	197	1710
Lapa	147	150	126	89	107	106	95	93	120	124	120	146	1424
Londrina	209	171	123	98	111	105	77	71	105	147	157	217	1592
Medianeira	192	174	156	178	145	133	103	126	136	201	156	185	1885
Palmas	191	143	143	123	166	148	142	131	158	167	147	149	1809
Pato Branco	188	169	151	160	188	168	161	141	162	196	168	173	2027
Prudentópolis	161	131	123	100	114	115	100	81	134	166	131	149	1504
São Jerônimo da Serra	201	162	134	93	115	107	86	64	103	145	136	221	1569
Telêmaco Borba	170	139	100	83	109	109	74	75	114	146	126	185	1431
Tibagi	191	160	137	96	124	114	91	84	132	157	142	186	1614
Toledo	126	116	91	117	137	100	88	82	129	149	111	152	1396
Umuarama	170	139	116	132	192	203	72	86	134	162	163	183	1752

TABELA 2 - EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL ESTIMADA PARA O PERÍODO OBSERVADO DE 1961 A 1990

Localidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	R
	MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$												
Apucarana	1254	826	693	389	546	474	314	274	443	784	723	1224	7944
Assis Chateubriant	1191	1039	622	736	953	751	513	505	723	1188	862	1365	10447
Cambará	1174	1012	873	324	344	318	232	233	309	694	682	1138	7334
Campo Mourão	1093	1252	728	641	762	689	348	396	757	1138	802	1733	10339
Castro	1110	736	568	344	468	416	316	254	494	654	549	876	6785
Cianorte	1498	1042	780	723	826	578	364	443	772	1043	815	1764	10650
Clevelândia	973	762	571	735	854	840	646	676	780	1177	797	888	9698
Curitiba	867	637	532	283	312	347	259	187	409	522	469	710	5534
Foz do Iguaçu	960	640	635	879	674	658	398	689	929	1074	890	872	9298
General Carneiro	846	884	594	451	661	590	530	494	703	912	700	796	8162
Guarapuava	831	733	564	456	521	520	450	351	616	736	600	816	7194
Irati	868	634	624	373	509	455	389	296	501	688	598	705	6641
Ivaiporã	1258	1047	699	596	702	621	420	407	724	1004	839	1286	9603
Lapa	652	678	489	261	359	356	292	280	447	474	444	641	5372
Londrina	1250	888	538	403	468	437	312	289	437	702	778	1329	7831
Medianeira	1282	1088	906	1126	808	711	497	657	735	1388	911	1208	11317
Palmas	1058	637	640	498	819	679	628	549	755	834	670	686	8452
Pato Branco	1110	927	769	847	1114	920	855	687	863	1191	917	961	11160
Prudentópolis	1027	742	680	515	611	616	511	404	773	1076	740	902	8598
São Jerônimo da Serra	1185	823	616	384	498	453	351	267	431	693	628	1394	7723
Telêmaco Borba	926	651	384	292	438	435	251	254	469	705	551	1075	6432
Tibagi	1021	743	576	329	488	427	304	274	538	720	609	972	7002
Toledo	818	721	515	733	941	584	494	453	857	1073	676	1107	8971
Umuarama	1108	803	612	740	1368	1506	349	420	759	1028	1030	1262	10986

TABELA 3 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL ESTIMADA PELO MCR PARA PERÍODO DE 1961 A 1990

Localidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
	mm												
Apucarana	443	335	203	117	92	82	58	119	170	237	309	383	2545
Assis Chateubriant	215	167	116	98	105	103	74	124	139	190	175	219	1726
Cambará	188	144	83	43	24	22	17	44	64	95	146	165	1035
Campo Mourão	258	199	129	84	82	73	53	103	124	169	187	236	1695
Castro	191	150	89	65	79	71	58	95	121	159	153	183	1413
Cianorte	171	142	84	52	48	44	31	67	80	116	136	160	1131
Clevelândia	170	114	103	103	114	100	87	112	152	227	139	173	1594
Curitiba	208	170	108	85	93	87	79	116	148	201	171	207	1673
Foz do Iguaçu	202	158	131	121	112	111	92	126	149	223	168	204	1798
General Carneiro	224	141	123	115	132	133	120	152	185	263	175	221	1983
Guarapuava	300	206	152	137	141	140	109	170	182	279	236	282	2335
Irati	157	113	75	70	70	69	55	93	106	153	123	154	1239
Ivaiporã	198	149	88	61	57	52	39	75	99	127	147	166	1258
Lapa	138	105	69	71	69	73	59	95	109	159	112	146	1206
Londrina	201	158	84	50	39	39	26	59	78	111	152	174	1171
Medianeira	202	158	131	121	112	111	92	126	149	223	168	204	1798
Palmas	221	145	130	131	147	138	122	154	201	288	177	220	2074
Pato Branco	179	122	104	102	112	109	87	123	148	226	138	175	1625
Prudentópolis	169	129	78	61	72	66	51	88	106	141	133	158	1254
São Jerônimo da Serra	201	158	84	50	39	39	26	59	78	111	152	174	1171
Telêmaco Borba	179	133	78	57	65	57	42	79	101	135	137	160	1224
Tibagi	179	133	78	57	65	57	42	79	101	135	137	160	1224
Toledo	232	180	145	117	107	109	80	130	141	200	190	240	1871
Umuarama	257	209	140	88	81	71	53	110	125	173	184	242	1732

TABELA 4 - EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL ESTIMADA COM OS DADOS DE PRECIPITAÇÃO DO MCR PARA O PERÍODO DE 1961 A 1990

Localidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	R
	MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$												
Apucarana	3197	1899	803	376	294	268	216	383	609	1034	1642	2431	13153
Assis Chateubriant	1693	1089	617	496	544	528	363	687	809	1359	1182	1749	11116
Cambará	1516	952	423	233	186	182	175	236	321	511	979	1205	6920
Campo Mourão	2394	1492	736	414	403	357	275	538	690	1124	1341	2023	11789
Castro	1162	753	322	216	277	240	190	354	517	829	774	1068	6702
Cianorte	1637	1189	533	317	296	278	230	404	499	856	1106	1458	8803
Clevelândia	956	487	418	418	490	402	330	478	790	1624	679	985	8057
Curitiba	1084	738	315	210	243	218	185	359	567	1016	746	1078	6758
Foz do Iguaçu	1464	967	722	638	577	568	449	682	872	1732	1066	1482	11220
General Carneiro	1295	581	466	421	516	527	447	650	915	1740	831	1257	9647
Guarapuava	1682	840	503	426	445	439	304	604	679	1464	1072	1498	9956
Irati	1042	587	321	293	293	288	222	432	534	998	681	1010	6701
Ivaiporã	1701	1047	488	336	316	297	251	407	569	816	1025	1249	8501
Lapa	680	403	192	205	196	213	150	340	431	888	460	757	4914
Londrina	1527	1007	401	250	216	214	186	283	368	580	938	1183	7152
Medianeira	1464	967	722	638	577	568	449	682	872	1732	1066	1482	11220
Palmas	1216	582	492	494	594	535	443	643	1023	1981	819	1199	10021
Pato Branco	1248	655	516	500	574	554	405	664	898	1902	796	1191	9903
Prudentópolis	1300	837	429	337	393	360	294	489	629	961	875	1158	8061
São Jerônimo da Serra	1527	1007	401	250	216	214	186	283	368	580	938	1183	7152
Telêmaco Borba	1176	688	300	201	234	204	152	303	437	711	728	954	6088
Tibagi	1176	688	300	201	234	204	152	303	437	711	728	954	6088
Toledo	1799	1158	818	595	529	537	373	690	776	1384	1264	1915	11840
Umuarama	2321	1596	823	434	394	346	273	572	691	1151	1283	2083	11967

TABELA 5 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL PROJETADA PARA CENÁRIO A2 PERÍODO DE 2070 A 2099

Localidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
	mm												
Apucarana	277	214	137	83	59	58	33	34	63	161	221	307	1637
Assis Chateubriant	233	197	153	107	112	102	66	53	104	206	250	256	1838
Cambará	243	171	115	64	39	44	24	27	54	133	164	243	1321
Campo Mourão	308	274	191	126	127	116	74	69	127	232	303	336	2281
Castro	226	179	130	77	76	63	39	41	86	174	209	243	1544
Cianorte	305	247	178	102	85	79	44	42	78	195	268	335	1958
Clevelândia	207	188	149	132	173	133	97	98	171	250	239	240	2076
Curitiba	216	182	145	108	117	95	67	66	125	248	251	238	1858
Foz do Iguaçu	228	187	161	133	133	102	69	66	120	226	267	245	1937
General Carneiro	180	165	132	117	153	128	96	96	163	229	219	204	1880
Guarapuava	273	250	180	142	146	123	89	83	159	262	287	280	2273
Irati	278	238	197	184	193	137	88	95	169	287	338	311	2515
Ivaiporã	176	144	96	66	70	68	40	38	73	137	163	190	1261
Lapa	216	182	145	108	117	95	67	66	125	248	251	238	1858
Londrina	277	217	157	83	59	58	33	34	63	161	221	307	1670
Medianeira	228	187	161	133	133	102	69	66	120	226	267	245	1929
Palmas	180	165	132	117	153	128	96	96	163	229	219	204	1880
Pato Branco	207	188	149	132	173	133	97	98	171	250	239	240	2076
Prudentópolis	187	161	120	92	99	84	61	54	108	205	216	196	1584
São Jerônimo da Serra	264	212	140	81	53	51	29	32	63	157	204	290	1578
Telêmaco Borba	321	257	196	121	117	97	61	64	126	230	286	359	2236
Tibagi	321	254	176	121	117	97	61	64	126	230	286	359	2213
Toledo	233	197	153	107	112	102	66	53	104	206	250	256	1838
Umuarama	250	202	155	91	76	70	43	38	70	187	249	285	1715

TABELA 6 - EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL ESTIMADA PARA O CENÁRIO A2 PERÍODO DE 2070 A 2099

Localidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	R
	MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$												
Apucarana	2007	1268	619	330	248	245	190	192	259	792	1336	2430	9917
Assis Chateubriant	1836	1370	894	534	569	500	314	268	515	1483	2091	2193	12568
Cambará	1929	1038	556	285	209	222	181	186	251	696	970	1928	8451
Campo Mourão	2526	2029	1085	572	579	513	318	301	578	1504	2438	2962	15404
Castro	1460	948	546	253	249	200	133	138	291	899	1263	1665	8045
Cianorte	2849	1937	1090	483	388	364	238	233	359	1271	2241	3409	14863
Clevelândia	1074	903	606	501	780	505	319	326	772	1518	1397	1412	10113
Curitiba	1056	756	491	288	332	230	133	130	378	1381	1415	1279	7867
Foz do Iguaçu	1687	1195	937	695	695	486	320	310	597	1669	2259	1930	12779
General Carneiro	916	783	540	449	689	516	338	337	771	1412	1299	1141	9192
Guarapuava	1439	1222	683	460	480	368	237	219	549	1335	1583	1511	10087
Irati	1356	1022	730	646	705	399	221	242	560	1445	1966	1677	10968
Ivaiporã	1380	988	548	358	378	369	254	247	399	912	1212	1583	8627
Lapa	1056	756	491	288	332	230	133	130	378	1381	1415	1279	7867
Londrina	1971	1280	747	327	247	244	190	191	258	780	1313	2385	9933
Medianeira	1693	1199	940	696	697	487	320	310	599	1674	2267	1937	12820
Palmas	916	783	540	449	689	516	338	337	771	1412	1299	1141	9192
Pato Branco	1293	1090	738	614	944	618	398	406	934	1820	1676	1694	12225
Prudentópolis	1258	985	634	453	491	410	304	281	552	1478	1624	1364	9834
São Jerônimo da Serra	1906	1286	656	330	235	230	185	190	263	783	1208	2259	9531
Telêmaco Borba	1994	1314	803	361	346	267	162	168	385	1072	1606	2468	10945
Tibagi	2014	1295	673	364	349	269	162	169	388	1082	1621	2493	10878
Toledo	1836	1370	894	534	569	500	314	268	515	1483	2091	2193	12568
Umuarama	2236	1514	970	451	374	345	244	229	345	1323	2209	2841	13082

TABELA 7 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL PROJETADA PARA O CENÁRIO B2 PERÍODO DE 2070 A 2099

Localidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
							mm						
Apucarana	473	384	268	153	177	132	71	95	157	259	346	468	2982
Assis Chateubriant	249	206	144	133	169	142	69	99	125	190	213	248	1989
Cambará	191	149	100	47	51	48	23	32	57	104	138	194	1133
Campo Mourão	286	234	161	115	136	115	56	77	117	187	232	286	2003
Castro	246	163	123	96	137	120	50	78	135	193	195	208	1744
Cianorte	189	153	101	64	84	71	39	48	67	124	155	200	1295
Clevelândia	194	142	123	142	157	143	74	115	152	201	199	175	1816
Curitiba	258	174	139	116	152	135	64	103	162	243	242	213	2000
Foz do Iguaçu	245	185	155	148	174	150	73	111	128	198	220	221	2008
General Carneiro	259	184	155	166	198	187	98	155	202	260	255	237	2356
Guarapuava	330	239	209	182	225	201	92	146	205	296	281	323	2730
Irati	198	132	114	96	126	109	47	76	115	185	174	181	1553
Ivaiporã	218	169	115	77	103	89	45	57	97	144	166	203	1484
Lapa	174	116	100	94	127	114	54	88	125	185	177	154	1509
Londrina	217	167	107	61	77	64	34	41	74	118	152	208	1320
Medianeira	245	185	155	148	174	150	73	111	128	198	220	221	2001
Palmas	258	186	164	182	216	203	106	165	213	274	258	235	2458
Pato Branco	206	152	134	143	163	155	77	125	156	203	196	191	1901
Prudentópolis	213	143	116	89	125	113	46	72	118	173	173	189	1570
São Jerônimo da Serra	217	167	107	61	77	64	34	41	74	118	152	208	1320
Telêmaco Borba	221	151	114	80	116	101	45	63	112	153	162	194	1513
Tibagi	221	151	114	80	116	101	45	63	112	153	162	194	1513
Toledo	249	206	144	133	169	142	69	99	125	190	213	248	1989
Umuarama	295	238	169	119	137	112	59	81	105	188	243	304	2050

TABELA 8 - EROSIVIDADE MÉDIA MENSAL ESTIMADA PARA O CENÁRIO B2 PERÍODO DE 2070 A 2099

Localidade	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	R
							MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$						
Apucarana	3116	2110	1115	475	577	395	230	284	490	1053	1749	3057	14652
Assis Chateubriant	1930	1384	773	685	995	757	318	461	621	1205	1465	1921	12515
Cambará	1440	934	511	240	254	244	183	199	278	540	827	1472	7121
Campo Mourão	2477	1724	912	551	703	557	272	348	566	1160	1698	2483	13452
Castro	1519	718	453	310	538	435	153	236	521	973	995	1116	7968
Cianorte	1733	1202	629	359	489	400	250	283	376	850	1224	1926	9720
Clevelândia	1084	629	499	626	745	634	247	450	702	1146	1125	899	8787
Curitiba	1391	650	428	305	501	406	116	247	570	1234	1225	954	8027
Foz do Iguaçu	1859	1145	853	799	1033	813	334	525	638	1284	1532	1555	12370
General Carneiro	1446	779	587	659	888	804	297	583	920	1455	1399	1226	11043
Guarapuava	1737	959	755	592	855	705	222	417	729	1413	1284	1667	11334
Irati	1137	554	440	337	512	406	153	247	443	1005	900	959	7092
Ivaiporã	1738	1120	626	385	537	452	259	300	501	865	1095	1543	9420
Lapa	849	400	303	273	469	385	113	240	454	955	879	672	5993
Londrina	1569	1000	507	274	340	287	198	214	326	582	855	1458	7612
Medianeira	1864	1148	855	801	1036	815	334	526	640	1288	1537	1559	12403
Palmas	1377	766	619	742	997	890	321	625	969	1535	1379	1159	11380
Pato Branco	1385	823	668	747	925	845	320	607	856	1354	1275	1219	11023
Prudentópolis	1598	824	607	434	677	584	258	350	622	1120	1114	1289	9478
São Jerônimo da Serra	1569	1000	507	274	340	287	198	214	326	582	855	1458	7612
Telêmaco Borba	1429	714	450	266	460	371	149	203	438	728	809	1117	7132
Tibagi	1429	714	450	266	460	371	149	203	438	728	809	1117	7132
Toledo	1930	1384	773	685	995	757	318	461	621	1205	1465	1921	12515
Umuarama	2569	1731	968	570	701	529	279	362	485	1148	1803	2714	13860

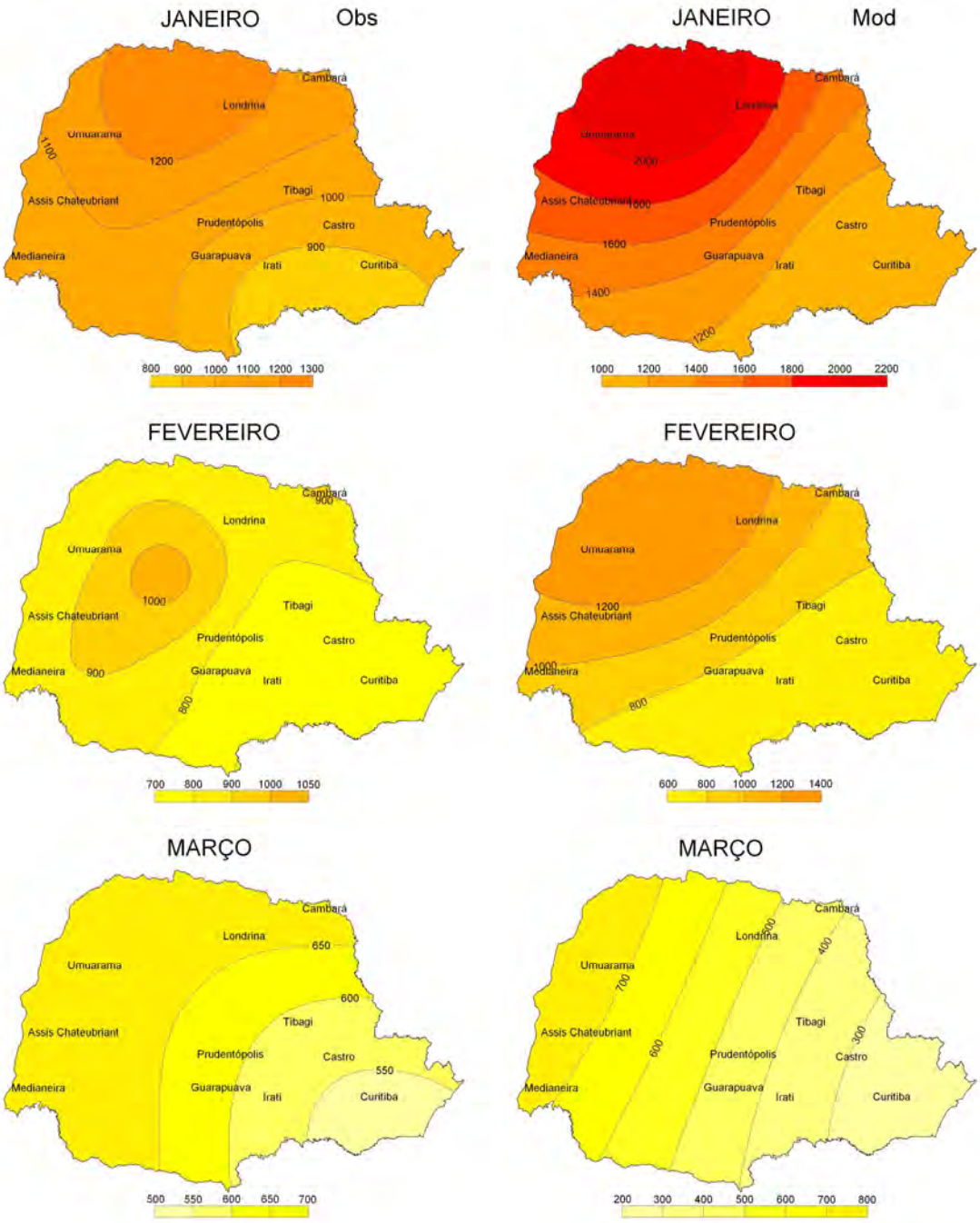


FIGURA 1 – MAPAS COMPARATIVOS EROSIVIDADES MENSAIS ESTIMADAS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, CONSIDERANDO OS DADOS OBSERVADOS (Obs – LADO ESQUERDO) E GERADOS PELO MODELO (Mod – LADO DIREITO), PARA OS MESES DE JANEIRO, FEVEREIRO E MARÇO – PERÍODO 1961-1990.

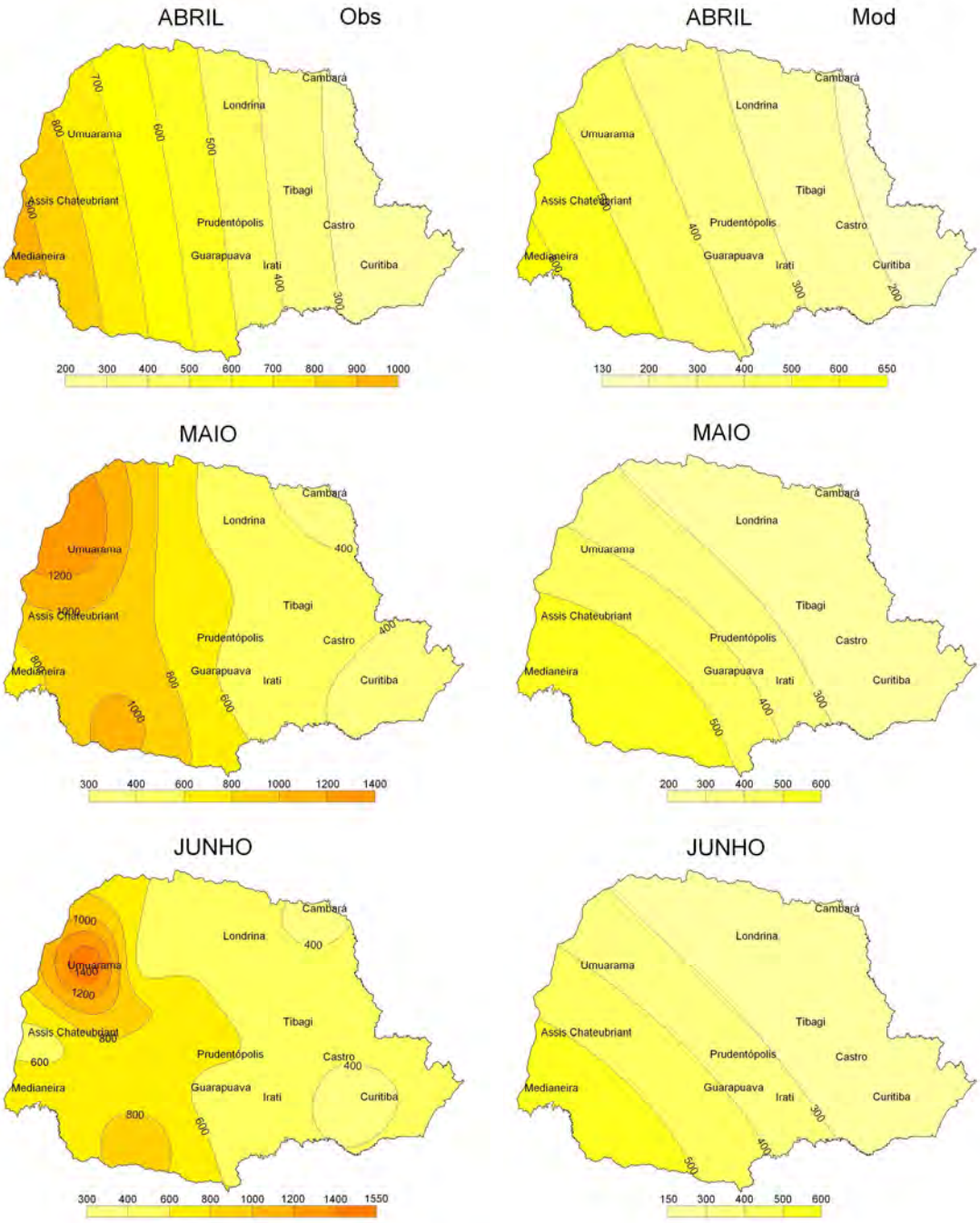


FIGURA 2 – MAPAS COMPARATIVOS EROSIVIDADES MENSAIS ESTIMADAS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, CONSIDERANDO OS DADOS OBSERVADOS (Obs – LADO ESQUERDO) E GERADOS PELO MODELO (Mod – LADO DIREITO), PARA OS MESES DE ABRIL, MAIO E JUNHO – PERÍODO 1961-1990.

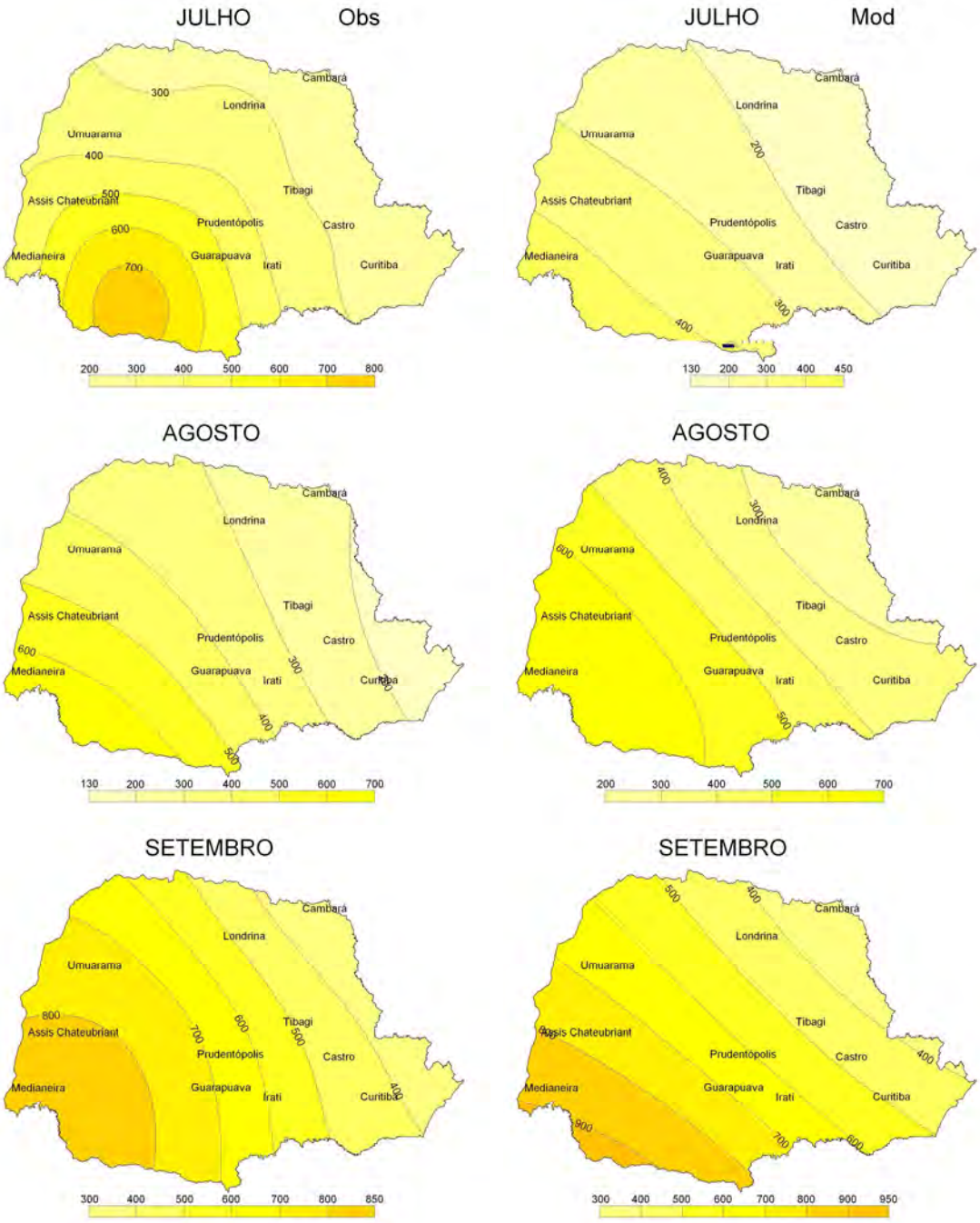


FIGURA 3 – MAPAS COMPARATIVOS EROSIVIDADES MENSAIS ESTIMADAS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, CONSIDERANDO OS DADOS OBSERVADOS (Obs – LADO ESQUERDO) E GERADOS PELO MODELO (Mod – LADO DIREITO), PARA OS MESES DE JULHO, AGOSTO E SETEMBRO – PERÍODO 1961-1990.

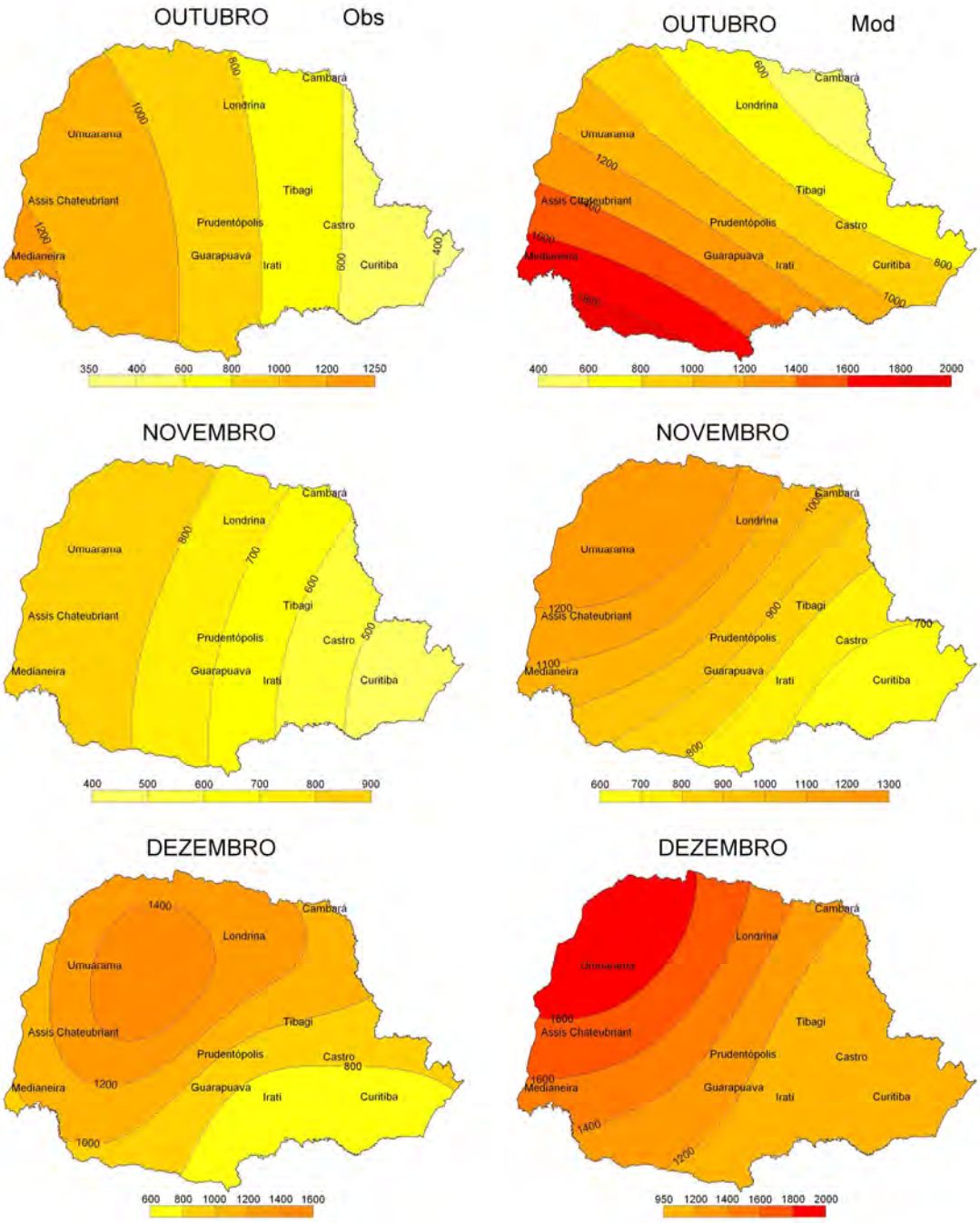


FIGURA 4 – MAPAS COMPARATIVOS EROSIVIDADES MENSAIS ESTIMADAS EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, CONSIDERANDO OS DADOS OBSERVADOS (Obs – LADO ESQUERDO) E GERADOS PELO MODELO (Mod – LADO DIREITO), PARA OS MESES DE OUTUBRO, NOVEMBRO E DEZEMBRO – PERÍODO 1961-1990.

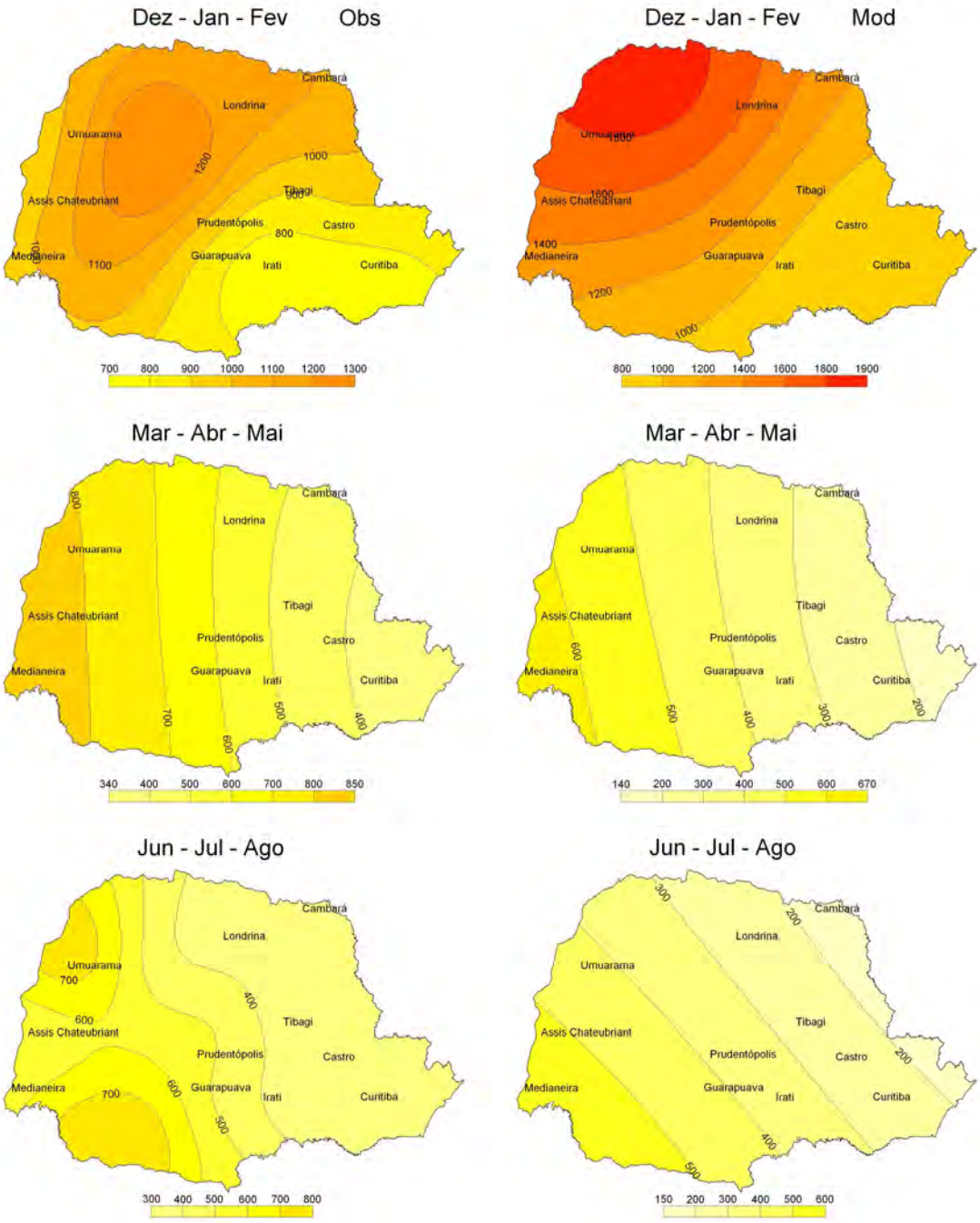


FIGURA 5 – MAPAS COMPARATIVOS DA EROSIVIDADE MÉDIA SAZONAL ESTIMADA EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, CONSIDERANDO OS DADOS OBSERVADOS (Obs – LADO ESQUERDO) E GERADOS PELO MODELO (Mod – LADO DIREIRO), PERÍODO 1961-1990.

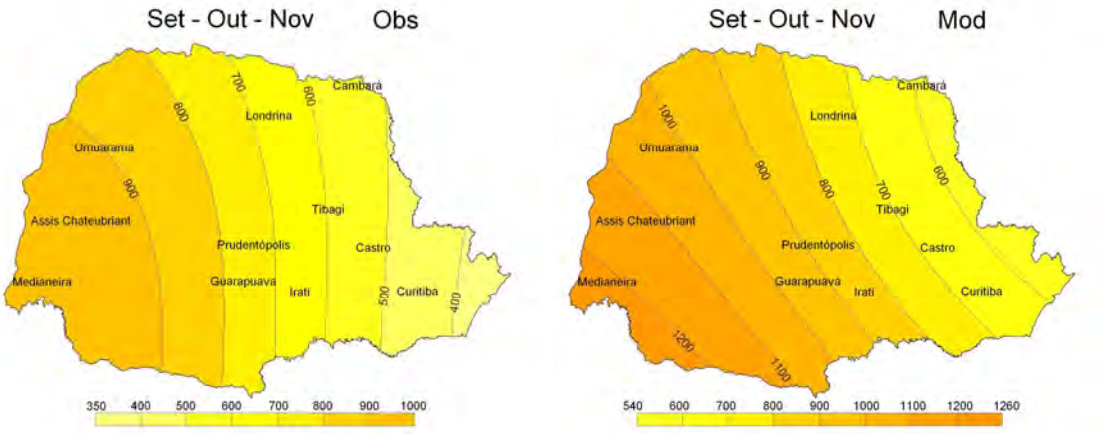


FIGURA 6 – MAPAS COMPARATIVOS DA EROSIVIDADE MÉDIA SAZONAL ESTIMADA EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, CONSIDERANDO OS DADOS OBSERVADOS (Obs – LADO ESQUERDO) E GERADOS PELO MODELO (Mod – LADO DIREIRO), PERÍODO 1961-1990.

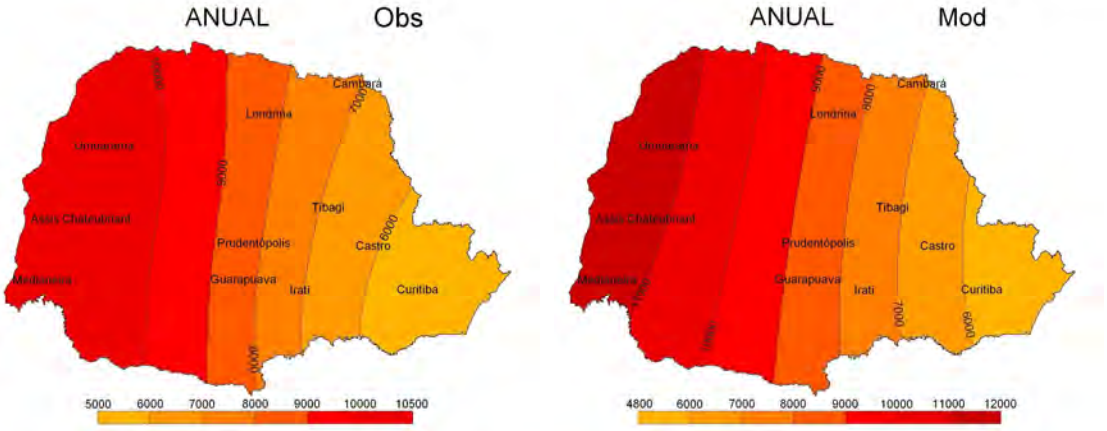


FIGURA 7 – MAPAS COMPARATIVOS DA EROSIVIDADE MÉDIA ANUAL ESTIMADA EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, CONSIDERANDO OS DADOS OBSERVADOS (Obs – LADO ESQUERDO) E GERADOS PELO MODELO (Mod – LADO DIREITO), – PERÍODO 1961-1990.

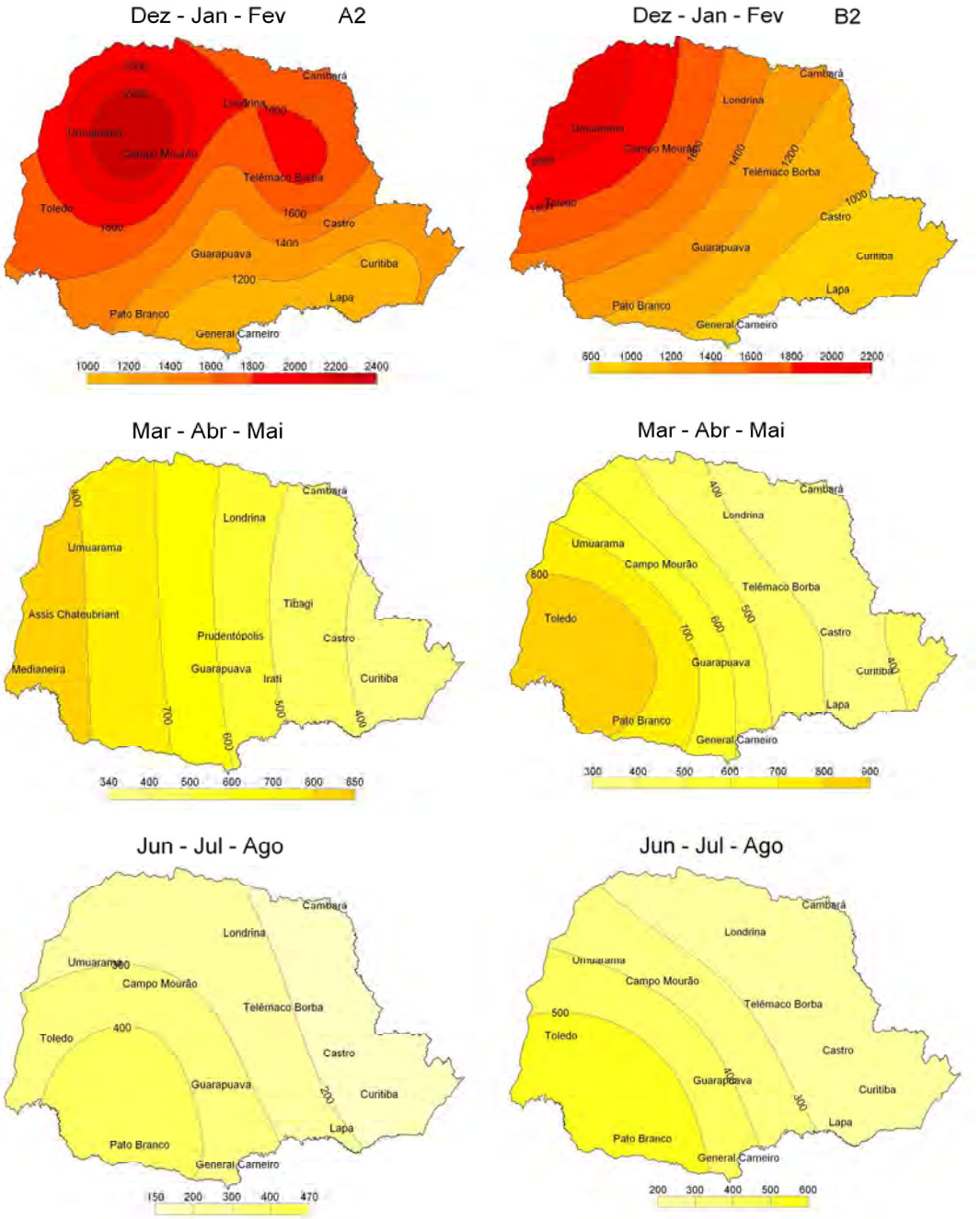


FIGURA 8 – MAPAS COMPARATIVOS DA EROSIVIDADE MÉDIA SAZONAL ESTIMADA EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, CONSIDERANDO OS DADOS GERADOS PELO MODELO PARA OS CENÁRIOS FUTUROS A2 (LADO ESQUERDO) E B2 (LADO DIREITO) – PERÍODO 2070-2099.

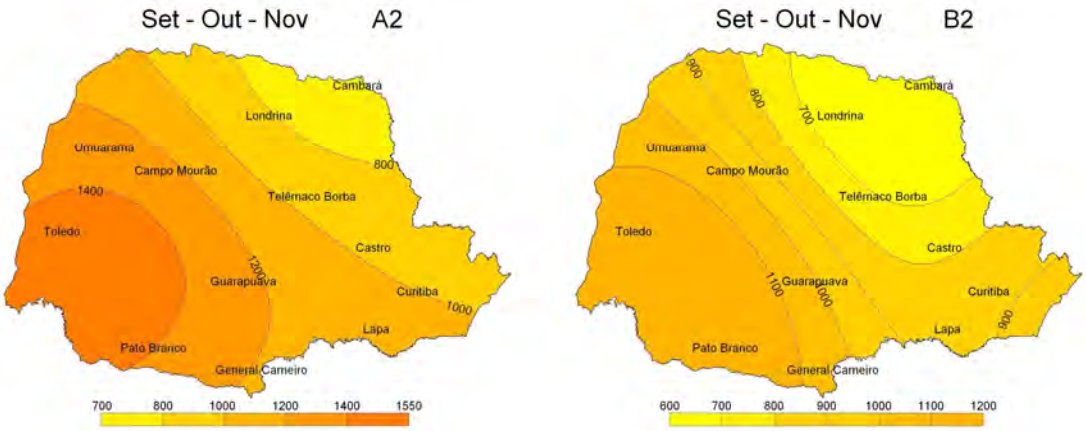
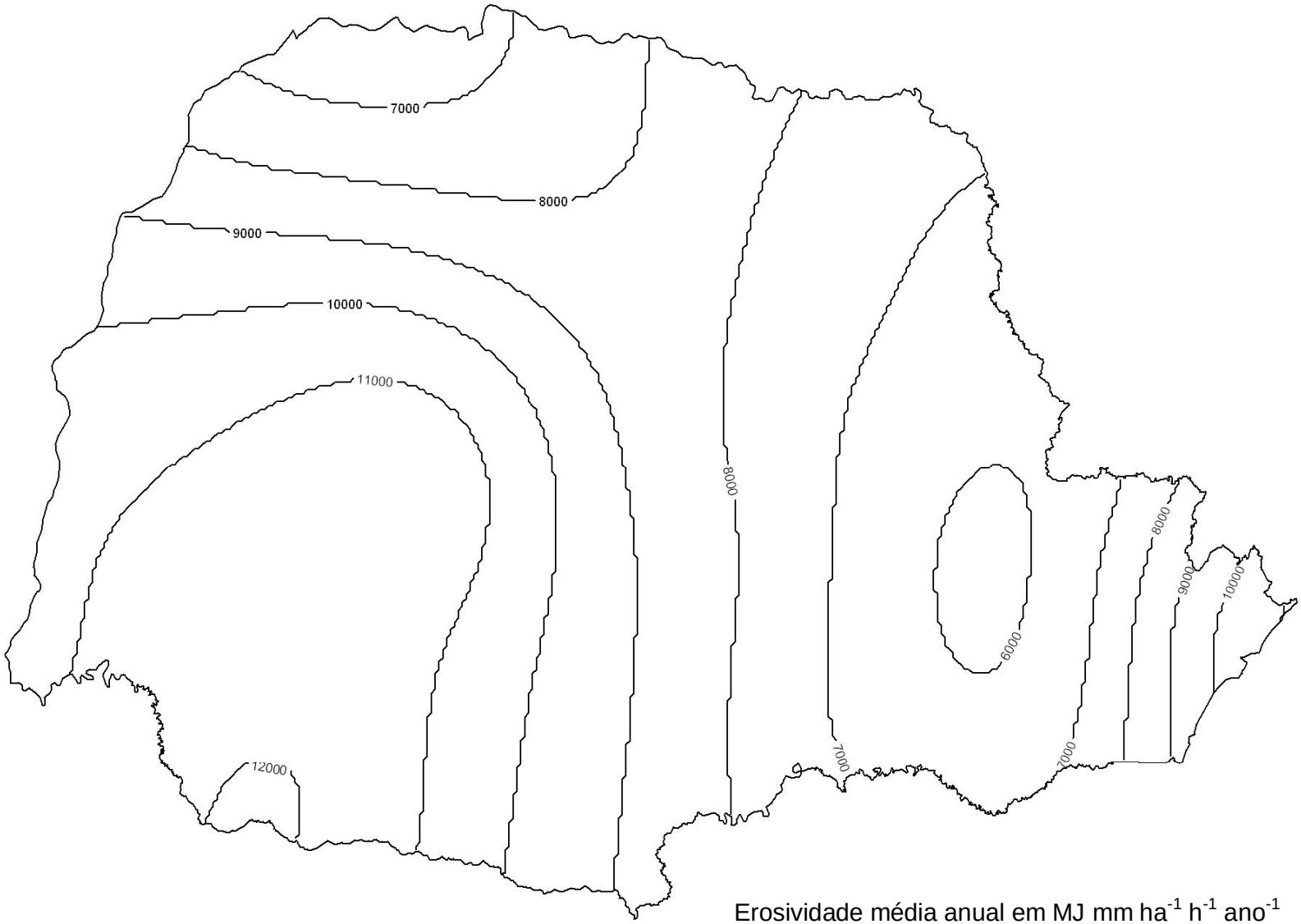


FIGURA 9 – MAPAS COMPARATIVOS DA EROSIVIDADE MÉDIA SAZONAL ESTIMADA EM MJ mm ha^{-1} h^{-1} $mês^{-1}$, CONSIDERANDO OS DADOS GERADOS PELO MODELO PARA OS CENÁRIOS FUTUROS A2 (LADO ESQUERDO) E B2 (LADO DIREITO) – PERÍODO 2070-2099.



Erosividade média anual em MJ mm ha^{-1} h^{-1} ano^{-1}

Fonte: ITCG (2008)