

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MANEJO E
CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA



Dissertação

**Erosividade determinada por Desagregação de Chuva Diária no
lado brasileiro da Bacia da Lagoa Mirim**

Jacira Porto dos Santos

Pelotas, outubro de 2013.

JACIRA PORTO DOS SANTOS

**EROSIVIDADE DETERMINADA POR DESAGREGAÇÃO DE CHUVA DIÁRIA NO
LADO BRASILEIRO DA BACIA DA LAGOA MIRIM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientadora: Professora Dr^a. Rita de Cássia Fraga Damé

Co-orientador (es) : Prof^a. Dr^a. Cláudia Fernanda Almeida Teixeira
Prof^o. Dr^o. Fioravante Jaekel dos Santos

Pelotas, outubro de 2013.

Banca examinadora:

Prof^a. Dr^a. Rita de Cássia Fraga Damé (Orientadora)
Centro das Engenharias / UFPel

Prof^o. Dr^o. Rodrigo Rizzi
Faculdade de Agronomia “Eliseu Maciel” – UFPel

Prof^o. Dr^o. Marcelo Peske Hartwig
Instituto Federal do Sul Rio-grandense

*A ilusão do teórico é pensar que o seu modelo
é mais real que a própria realidade e que os
fatos subordinam-se às hipóteses.*

Délio Jardim de Matos

À minha mãe Joaquina, meu esposo Fioravante, meus filhos Alice e Pedro pessoas importantes na minha vida para atingir este objetivo.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Gostaria primeiramente de agradecer a minha orientadora Prof^a Rita pela confiança depositada, pela orientação recebida e pela amizade construída.

Aos meus co-orientadores, Prof^a Cláudia e Prof. Fioravante, pela parceria e empenho.

Aos professores do curso pelo compartilhamento do conhecimento.

Aos colegas do PPGMACSA, em especial Aline, Antonyony, Marta, Jaqueline e Renata pelo convívio, pelo companheirismo e pelo auxílio sempre que necessário.

A colega Marília pela amizade, incentivo e o constante apoio recebido.

Aos meus amigos pela torcida e pelos recuperadores momentos de alegria.

A Prefeitura de Pelotas, em especial ao Secretário Carlos Renato Bento de Oliveira e aos produtores rurais deste município pelo apoio e compreensão.

Resumo

SANTOS, Jacira Porto dos. **Erosividade determinada por Desagregação de Chuva Diária no lado brasileiro da Bacia da Lagoa Mirim**. 2013. 83p. Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas - Brasil.

A Erosividade, que é o potencial da chuva em causar erosão do solo, constitui-se num objeto fundamental de estudo para o planejamento conservacionista do solo. No entanto, para se obter a erosividade da chuva é necessário saber a intensidade da mesma, que é normalmente obtida por registros pluviográficos, porém em muitos locais não existem esses registros. Neste sentido este trabalho teve por objetivos (i) validar a técnica de desagregação da chuva diária para o cálculo de Erosividade, fundamentando-se em localidades que possuem registros pluviográficos e dados pluviométricos; (ii) aplicar a técnica de desagregação para a obtenção da erosividade nos municípios da Bacia da Lagoa Mirim (BLM) que não possuam registros pluviográficos; (iii) determinar a distribuição espacial da erosividade na BLM; (iiii) verificar a existência de regiões homogêneas de erosividade dentro da BLM. Para tal utilizou-se os dados pluviométricos e registros pluviográficos do município de Pelotas, de uma série de 17 anos correspondente ao período de 1982 a 1998. Obteve-se também pelo método da desagregação a erosividade para 20 municípios do lado brasileiro da BLM e estes dados foram espacializados obtendo-se assim o mapa de erosividade da bacia. Os resultados mostram que os valores de erosividade obtidos com base na técnica de desagregação de chuva diária utilizando dados pluviométricos não diferem daqueles obtidos por registros pluviográficos, portanto, a técnica de desagregação pode ser empregada para o cálculo da erosividade. Com a disponibilização de dados de erosividade para os 20 municípios e a identificação de duas regiões homogêneas de erosividade obtivemos ganho de informação para a região estudada.

Palavras-chave: Erosão hídrica, dados pluviométricos, variabilidade espacial.

Abstract

SANTOS, Jacira Porto dos. **Erosivity determined by daily rain disaggregation on the Brazilian side of the Lagoa Mirim Basin**. 2013. 83p. Dissertation - Graduate Program in Soil and Water Management and Conservation of. Federal University of Pelotas, Pelotas - Brazil.

Erosivity, which is the rain's potential to cause the soil's erosion, constitutes a fundamental object of study for soil conservation planning. However, to obtain the rain's erosivity it is necessary to know its intensity, which is normally derived through pluviographic records, but there is no such data in many places. In this sense, this study aimed to (i) validate the daily rain technique for the erosivity's calculation, based on localities which pluviographic and pluviometric records are available; (ii) apply the disaggregation technique to obtain the erosivity at Lagoa Mirim Basin municipalities that do not have pluviographic records; (iii) determine the spatial distribution of rainfall erosivity at the Brazilian side of Lagoa Mirim Basin-RS; (iiii) to verify the existence of homogeneous erosivity regions within Lagoa Mirim Basin-RS. For this purpose pluviometric and pluviographic data from the municipality of Pelotas from a series of 17 years for the period of 1982-1998 were used. The erosivity in 20 municipalities in the Brazilian side of Lagoa Mirim Basin was also derived by the same disaggregation method and this data was spatialized thus obtaining the erosivity map of the basin. The results show that the erosivity values obtained based on the disaggregation technique of daily rainfall using pluviometric data did not differ from those obtained by pluviographic records, therefore the disaggregation technique can be employed for the calculation of erosivity. We had an increase in information for the region studied with the availability of erosivity data for 20 cities and the identification of two homogeneous erosivity regions.

Keywords: water erosion, pluviometric data, spatial variability.

Lista de Figuras

Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim.no território brasileiro. Fonte: DRH-SEMA, 2013	32
Figura 2 – Mapa com a localização dos 20 municípios que se encontram total ou parcialmente na BLM. Fonte: DRH-SEMA, 2013.	33
Figura 3 – Fluxuograma do cálculo da erosividade.	34
Figura 4 – Demonstração do cálculo de I30 utilizando registros pluviográficos	36
Figura 5 - Distribuição espacial das estações pluviométricas localizadas na BLM e área de influência utilizadas no estudo da Erosividade.	41
Figura 6 - Distribuição sazonal da precipitação pluvial em Pelotas-RS no período de 1982-1998.	48
Figura 7 - Valores médios mensais de precipitação pluvial (P) e intensidade de chuva (I30) para o município de Pelotas-RS no período de 1982 a 1998.....	51
Figura 8 – Erosividade média mensal obtida de registros pluviográficos ($EI_{30_{PLUV}}$), por desagregação de chuva diária na duração da chuva do pluviograma ($EI_{30_{DESAG}}$) e na duração da chuva em 1440 min ($EI_{30_{1440}}$) no período 1982-1998 para o município de Pelotas.	58
Figura 9 – Distribuição espacial dos índices anuais de $EI_{30_{1440BLM}}$.na BLM.	60
Figura 10 – Mapa de altitudes da BLM lado brasileiro.	62
Figura 11 – Distribuição espacial e temporal de $EI_{30_{1440BLM}}$ no lado brasileiro da BLM	64
Figura 12 – Distribuição espacial dos dois padrões de pico de erosividade mensal encontrados nos municípios localizados na BLM.	65

Figura 13 - Relação $EI30_{1440BLM}$ anual com a altitude média dos municípios localizados na BLM lado brasileiro e que apresentam picos de erosividade no mês de abril.66

Figura 14 - Relação $EI30_{1440BLM}$ anual com a altitude média dos municípios localizados na BLM lado brasileiro e que apresentam picos de erosividade no mês de abril e fevereiro.....67

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Estações pluviométricas utilizadas para o cálculo da erosividade na BLM (EI30 _{BLM1440}).	42
Tabela 2 - Valores médios mensais e anuais da precipitação pluvial em Pelotas-RS no período de 1982-1998.	47
Tabela 3 - Número de precipitações pluviais analisadas e número de precipitações erosivas referente ao período de 1982-1998.....	49
Tabela 4 – Precipitação média mensal e anual das chuvas ocorridas e a precipitação média mensal e anual das chuvas erosivas do período de 1982-1998.....	50
Tabela 5 – Valores mensais, anuais e médios do índice de Erosividade EI30 _{PLUV} (MJmmh ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹) de Pelotas-RS, no período de 1982-1998, com as respectivas medidas de dispersão calculados a partir de registros pluviográficos.....	53
Tabela 6 – Período de Retorno e probabilidade de ocorrência dos valores dos índices anuais de erosividade (EI30 _{PLUV}), de Pelotas (RS) durante o período de 1982 a 1998.	55
Tabela 7– Resultados dos testes F, Anderson Darling, t de Student e EPE utilizando as médias mensais de erosividade (EI30 _{PLUV}) de Pelotas (RS) do período de 1982 a 1998, EI30 _{DESAG} e EI30 _{DESAG1440}	56
Tabela 8– Ajuste linear de EI30 _{PLUV} com EI30 _{DESAG} e EI30 _{DESAG1440}	57

Lista de Abreviaturas e Siglas

ANA – Agência Nacional de Águas

BLM – Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim

CLM – Comissão Mista Brasileiro-Uruguiaia da Lagoa Mirim

CPRM – Serviço Geológico do Brasil (Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais)

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

CETESB – Departamento de Águas e Energia Elétrica - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (Secretaria do Meio Ambiente/SP)

DNOCS – Departamento Nacional de Obras contra a Seca

EC – Energia cinética

ECt - Energia cinética total

EI30 – Índice de erosividade para intensidade de chuva máxima em 30 min.

EI30_{BLM1440} – Índice de erosividade calculado por desagregação da chuva diária utilizando a duração de 1440 min para as estações meteorológicas e municípios da BLM

EI30_{DESAG} – Índice de erosividade calculado por desagregação da chuva diária utilizando a duração da chuva do pluviograma

EI30_{DESAG1440} – Índice de erosividade calculado por desagregação da chuva diária utilizando a duração de 1440 min

El30_{PLUV} – Índice de erosividade calculado através de registros pluviográficos

EMATER/RS-ASCAR – Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Sul

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ENOS – El Niño Oscilação Sul

EPE – Erro Padrão da Estimativa

I30 – Intensidade máxima em 30 min

IDF – Intensidade, Duração e Frequência

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IQD – Inverso do Quadrado da Distância

MDE - Modelo Digital de Elevação

MNT – Modelo Numérico de Terreno

MUSLE – Modified Universal Soil Loss Equation

OMM – Organização de Meteorologia Mundial

RUSLE - Revised Universal Soil Loss Equation

SEMA – Secretaria do Meio Ambiente/RS

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SUDESUL – Superintendência de Desenvolvimento do Sul

SRTM - Shuttle Radar Topography Mission

UFPeI – Universidade Federal de Pelotas

USGS - United States Geological Survey

USLE - Universal Soil Loss Equation

WEPP - Water Erosion Prediction Project

Sumário

1 INTRODUÇÃO	16
2 REVISÃO DE LITERATURA	18
2.1. Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim	18
2.2. Precipitação pluvial	20
2.3. Dados pluviométricos e registros pluviográficos	23
2.4. Desagregação da chuva diária	25
2.5. Erosão e Erosividade	27
2.6. Modelos Hidrossedimentológicos	29
2.7 Distribuição espacial da erosividade	30
3 MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1. Local de estudo	32
3.2. Precipitação Pluvial	34
3.2.1. Fluxograma das metodologias aplicadas	34
3.2.2. Registros pluviográficos do município de Pelotas	34
3.2.3. Dados pluviométricos da Bacia da Lagoa Mirim (lado brasileiro)	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
4.1. Precipitação Pluvial	45
4.2. Precipitações Erosivas	48
4.3. Intensidade de precipitação	50
4.4. Erosividade (EI30) no município de Pelotas/RS	52
4.4.1. Erosividade (EI30 _{PLUV}) a partir de Registros Pluviográficos	52
4.4.2. Comparação dos valores de EI30 _{PLUV} com os valores de EI30 _{DESAG} e EI30 ₁₄₄₀	56
4.5. Erosividade (EI30 _{1440BLM}) dos municípios que se encontram no âmbito da BLM lado brasileiro	59
5 CONCLUSÕES	68
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
APÊNDICE	80

1 INTRODUÇÃO

A demanda de produtos agrícolas vem crescendo rapidamente em resposta tanto ao crescimento exponencial da população, quanto a melhoria de seu poder aquisitivo. Para alimentar a população é necessário aumentar a produção de alimentos, fibra e energia, com a intensa utilização de recursos naturais. Neste contexto, o solo é o recurso natural mais intensamente utilizado e seu uso e manejo inadequados podem levar ao aumento da erosão.

Um dos grandes problemas na área agrícola é a erosão hídrica, a qual pode causar redução da produtividade das culturas, com sérios problemas de assoreamento dos rios e reservatórios e poluição dos recursos hídricos.

O conhecimento das características da chuva que ocorrem numa região, bem como da sua capacidade de provocar erosão são objetos fundamentais de estudo para o planejamento conservacionista. Um dos fatores de destaque é a Erosividade, que é o potencial da chuva em causar erosão do solo, e que é determinada pelo produto da energia cinética total (ECt) da chuva com sua intensidade máxima na duração de trinta minutos. Para tanto, os registros pluviográficos são de fundamental importância para entender a distribuição temporal das chuvas, numa escala de tempo que vai desde poucos minutos (chuvas com durações de 5 minutos, por exemplo), até durações horárias e diária.

No Brasil existe relativa facilidade de se obter dados de chuva de duração diária (obtidos de pluviômetros), porém, dados de chuvas de menor duração são mais escassos, pluviógrafos e radar meteorológico dificilmente são disponíveis e as séries disponíveis são relativamente curtas e apresentam muitas falhas nos seus registros. Quando não se dispõe de registros pluviográficos é possível utilizar a chuva diária desagregada em durações menores que a diária, permitindo estimar as intensidades pluviais para localidades que não dispõem de pluviógrafos ou radar meteorológico. Essa é uma metodologia indireta de obtenção dos índices de erosividade.

Neste sentido, a hipótese deste estudo é de que os valores de erosividade obtidos a partir de registros pluviográficos e por desagregação da chuva diária do município de Pelotas não apresentam diferenças significativas.

Assim, o objetivo deste trabalho foi validar a técnica de desagregação da chuva diária para o cálculo de Erosividade, para o município de Pelotas que possui registros pluviográficos e dados pluviométricos. Os objetivos específicos foram aplicar a técnica de desagregação para a obtenção da erosividade nos municípios da BLM, determinar a distribuição espacial da erosividade na BLM e verificar a existência de regiões homogêneas de erosividade dentro da BLM.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim

A Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim (BLM), objeto do presente trabalho, situa-se no sudeste do Estado do Rio Grande do Sul entre as coordenadas geodésicas 31°30' e 34°35' de latitude Sul e 53°31' e 55°15' de longitude Oeste (SEMA, 2013). Possui em território brasileiro: 29.250km² (47%) e em território uruguaio: 33.000km²(53%), sendo uma bacia transfronteiriça onde prevalece o regime de águas compartilhadas (Tratado de Limites de 1909 e Tratado da Lagoa Mirim de 1977) (ALM, 2013).

A Lagoa Mirim, como corpo de água principal da bacia, possui uma área aproximada de 3.749km², uma extensão de 185km e uma largura média de 20km, estando ligada à Laguna dos Patos através do Canal São Gonçalo, o qual, por sua vez, apresenta uma extensão de 76km (ALM, 2013). Está dividida em oito bacias hidrográficas menores que são: no lado brasileiro, a bacia do São Gonçalo (9.147km²) – cujo principal afluente é o Rio Piratini -, a bacia do Arroio Grande (4.080km²) – que incorpora, dentre outros, o próprio Arroio Grande e o Arroio Chasqueiro – e a bacia do Litoral (6.416km²), onde estão localizados o Banhado do Taim e a Lagoa Mangueira, entre outras menores; no lado uruguaio, a bacia do Tacuari (5.143km²), a bacia do Cebollati (17.328km²), a bacia do Sarandi (1.266km²) e a bacia do São Miguel (6.933km²) – integrada pelo São Miguel e por outros arroios de menor expressão; na divisa entre o Brasil e o Uruguai, está a bacia do Rio Jaguarão, com 8.188km² (IPH, 1998).

Para melhor entender o seu relevo, é importante conhecer a geomorfologia de seu território. Na BLM foram identificadas 3 unidades geomorfológicas, são elas: Depressão Central, Escudo Sul-Riograndense e Planície Costeira.

A Depressão Central, localizada no centro do estado, é formada de rochas sedimentares dando origem a um extenso corredor que liga o oeste ao leste, através de terrenos de baixa altitude. Ao sul localiza-se o Escudo Sul-Riograndense, com rochas ígneas do período Pré-Cambriano muito desgastadas pela erosão. Sua

altitude não ultrapassa os 600m. A Planície Costeira teve sua formação no período Quaternário da era Cenozóica, a mais recente da formação da Terra. Corresponde a uma faixa arenosa de 622km, com grande ocorrência de lagunas e lagoas, entre as quais destacam-se a Laguna dos Patos e Lagoa Mirim. O processo de formação desta região tem caráter evolutivo, estando em constante mutação, como decorrência da sedimentação marinha e flúvio-lacustre (Atlas Sócio Econômico do Rio Grande do Sul, 2013).

Existem 20 municípios com território total ou parcialmente localizados dentro da BLM: Aceguá, Arroio Grande, Arroio do Padre, Bagé, Candiota, Canguçu, Capão do Leão, Cerrito, Chuí, Herval, Hulha Negra, Jaguarão, Morro Redondo, Pedras Altas, Pedro Osório, Pelotas, Pinheiro Machado, Piratini, Rio Grande e Santa Vitória do Palmar. Os principais usos da água se destinam a irrigação, abastecimento humano e dessedentação animal (SEMA, 2013).

Para promover o desenvolvimento da BLM foi criada em 26 de abril de 1963, uma Comissão Mista Brasileiro-Uruguaia da Lagoa Mirim (CLM), composta por uma Seção Brasileira e por uma Delegação Uruguaia, e consolidada pelo Tratado da Lagoa Mirim (Art. 6º) do qual é responsável pela execução.

A Agência para o Desenvolvimento da BLM (ALM) da Universidade Federal de Pelotas (UFPel), criada na forma do Decreto Nº 1.184/94, como sucessora do antigo Departamento da Lagoa Mirim, da extinta Superintendência de Desenvolvimento do Sul (SUDESUL), além de administrar um expressivo acervo de estudos e dados, é responsável pela operação e manutenção da Barragem Eclusa do Canal São Gonçalo, pela administração da Barragem e do Distrito de Irrigação do Arroio Chasqueiro e pela operação de parte da Rede Hidrometeorológica e de Qualidade da Água do lado brasileiro da Bacia da Lagoa Mirim. A ALM atua como instituição voltada para o desenvolvimento da BLM – lado brasileiro – e como organismo operativo e de apoio à Seção Brasileira da Comissão Mista Brasileiro-Uruguaia. O Decreto Nº 4.258, de 4 de Junho de 2002, aprovou o Regimento Interno da Seção Brasileira da CLM, vinculou-a ao Ministério da Integração Nacional e estabeleceu como sua Sede Executiva a Agência da Lagoa Mirim da UFPel, localizada na cidade de Pelotas/RS (ALM, 2013).

As atividades econômicas predominantes na BLM são a pecuária extensiva e a agricultura. Nas planícies a atividade agrícola é constituída principalmente pelo cultivo de arroz. O cultivo de espécies florestais (eucalipto, pinus e acácia negra) e

de soja ocorrem tanto nas áreas planas como nas declivosas. A produção de leite, feijão, fumo e milho além de atividades relacionadas com fruticultura, olericultura, avicultura e suinocultura são desenvolvidas principalmente pelos agricultores familiares. A pecuária e as pastagens também contribuem para a economia e a paisagem rural desta região, tanto nas grandes como nas pequenas propriedades (SEMA, 2005).

A Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Rio Grande do Sul através do 1º Levantamento sobre Intenção de Plantio Safra de Verão 2013/2014 chama atenção ao expressivo incremento verificado em zonas não tradicionais na produção de soja como: Região Sul, Campanha e Fronteira Oeste. As lavouras de verão do Rio Grande do Sul ganharão 127,3mil novos hectares de soja na safra 2013/2014. A expansão das áreas de cultivo de soja se dará em cima da redução de quase 40 mil hectares do cultivo de milho e de 96,2mil hectares de áreas tradicionalmente ocupadas por pecuária (campo nativo/pastagem) no sul do Estado. Nas áreas de cultivo de arroz a cultura da soja tem entrado em rotação de cultura. Nas regiões de Bagé, Pelotas e Jaguarão a área plantada com soja na última década aumentou 120, 184 e 483%, respectivamente (EMATER/RS-ASCAR, 2013). Esse avanço traz preocupação com relação ao manejo e conservação da água e do solo na BLM porque os solos nesta região são mais jovens e rasos, mais sensíveis a erosão.

2.2. Precipitação pluvial

A variabilidade climática pode afetar de forma importante a vida econômica e social da população em geral, na geração de energia, nas atividades agrícolas, na indústria turística e, de forma indireta, em todo setor produtivo. Um dos fenômenos físicos decorrentes da variabilidade climática é a variabilidade da precipitação pluvial, um importante fator no controle do ciclo hidrológico e uma das variáveis climáticas que maior influência exercem na qualidade do meio ambiente. As quantidades relativas de precipitação pluvial (volume), seu regime sazonal ou diário (distribuição temporal) e as intensidades de chuvas individuais (volume/duração) são algumas das características que afetam direta ou indiretamente a população, a economia e o meio ambiente (BRITTO; BARLETTA; MENDONÇA, 2006).

O conhecimento das características da chuva permite a planificação mais segura de estruturas de conservação de solo (terraços, curvas de nível) e de práticas agrícolas que visem a conservação do solo por meio de manutenção de sua cobertura, assim como outras obras (barragens, canais escoadouros), e de estruturas hidráulicas de fluxo para águas pluviais. (BAZZANO; ELTZ; CASSOL, 2007).

A precipitação é entendida em hidrologia como toda água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitação. O que as diferencia é o estado em que a água se encontra. Por sua capacidade de produzir escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais importante para a hidrologia em regiões tropicais (BERTONI; TUCCI, 2002).

Conforme o mecanismo fundamental pelo qual se produz a ascensão do ar úmido, as precipitações podem ser classificadas em: Convectivas, quando em tempo calmo, o ar úmido for aquecido na vizinhança do solo, podem-se criar camadas de ar que se mantêm em equilíbrio instável. São, geralmente, chuvas de grande intensidade e de pequena duração, restritas a áreas pequenas, podendo provocar importantes inundações em pequenas bacias. Orográficas quando ventos quentes e úmidos, soprando geralmente do oceano para o continente, encontram uma barreira montanhosa, elevam-se e se resfriam adiabaticamente havendo condensação do vapor, formação de nuvens e ocorrência de chuvas. São chuvas de pequena intensidade e de grande duração, que cobrem pequenas áreas. Quando os ventos conseguem ultrapassar a barreira montanhosa do lado oposto projeta-se a sombra pluvial, dando lugar a áreas secas ou semi-áridas causadas pelo ar seco, já que a umidade foi descarregada na encosta oposta. Frontais ou ciclônicas provêm da interação de massas de ar quentes e frias. Nas regiões de convergência na atmosfera, o ar mais quente e úmido é violentamente impulsionado para cima, resultando no seu resfriamento e na condensação do vapor de água, de forma a produzir chuvas. São chuvas de grande duração, atingindo grandes áreas com intensidade média, podendo produzir cheias em grandes bacias (BERTONI, TUCCI, 2002).

As características das chuvas ocorridas em uma região determinam em grande parte os efeitos danosos da erosão, sendo a intensidade de precipitação uma de suas principais características (EVANGELISTA, CARVALHO,

BERNARDINO, 2005). É importante conhecer a intensidade pluvial porque representa uma relação entre a quantidade precipitada e a sua duração, resultado que determina, em última análise, a quantidade de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética (CREPANI, MEDEIROS, PALMEIRA, 2004).

As chuvas naturais têm uma variabilidade em termos de intensidade durante sua ocorrência. É observado que a ocorrência dos picos de intensidade durante a chuva afetam a predição da infiltração da água no solo, sendo que as intensidades médias não representam a realidade dos eventos naturais de precipitação (EVANGELISTA, CARVALHO, BERNARDINO, 2005). O padrão de chuva de cada região é um dado importante para posterior utilização em pesquisa de perdas de solo e água, bem como na determinação do período de retorno das chuvas de cada padrão (MEHL et al., 2001). De acordo com sua intensidade a chuva é classificada como padrão avançado, quando a maior intensidade ocorre em um período de tempo menor do que 30% a partir do momento inicial da chuva, em relação ao tempo de duração total da chuva; padrão intermediário, quando a maior intensidade ocorre entre 30 e 60% do tempo total da chuva, e padrão atrasado, quando a maior intensidade ocorre passados mais de 60% do tempo total de duração da chuva (ELTZ, MEHL, REICHERT, 2001). No Rio Grande do Sul, os padrões hidrológicos das chuvas foram caracterizados como de padrão avançado por Mehl et al (2001) em Santa Maria, por Bazzano, Eltz, Cassol (2007) em Quaraí; Mazurana et al. (2009) em Santa Rosa e Bazzano, Eltz, Cassol (2010) em Rio Grande.

Os resultados obtidos por Mehl (2000) mostram que as maiores perdas de solo e água ocorrem nos padrões intermediário e atrasado, devido à maior umidade antecedente ao pico de maior intensidade da chuva. Em solos mais úmidos, a capacidade de infiltração é menor e a desagregação do solo pelo impacto das gotas da chuva também é favorecida, causando o selamento superficial e o escoamento de enxurrada. Chuvas com picos de alta intensidade, como as do padrão avançado, intermediário e atrasado, causam perdas de solo e de água maiores do que chuvas de intensidade constante (ELTZ, MEHL, REICHERT, 2001).

No ano de 2009 foram revistas e ampliadas as Normais Climatológicas 1961-1990 computadas pelo INMET em 1992. Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM) Normal são os valores médios calculados para período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas

consecutivas” e padrões climatológicos normais como “médias de dados climatológicos calculadas para períodos consecutivos de 30 anos (INMET, 2013).

No trabalho realizado por Brandão e Lucena (2002) sobre tendência do clima no Centro - Sul das normais climatológicas entre os períodos 1931- 1960 e 1961-1990, foi identificado que houve aumento na média em geral da pluviosidade anual em todas as regiões do Brasil. O aumento ocorreu em maior número de estações do Rio Grande do Sul em relação a outros estados, em mais de 70% das estações meteorológicas. Os acréscimos variaram, em média, até 200 mm, exceto em Caxias do Sul (263,8mm) e São Luiz Gonzaga (305,5mm). Segundo estes autores, o aumento das chuvas no Rio Grande do Sul pode estar atrelado aos avanços dos sistemas frontais, favorecido pelo ENOS que durante seu período de atuação intensifica o período de chuvas no sul. Segundo De Paula (2010) o potencial erosivo das chuvas em Santa Maria/RS é alterado pelo fenômeno ENOS, nos anos neutros e de El Niño as chuvas tem maior potencial erosivo comparado com anos de La Niña.

No Rio Grande do Sul há flutuações de pluviosidade inter-regionais, sendo observada uma tendência de precipitação pluvial crescente anual no sentido sul-norte, que variam entre 1200mm e 2000mm anuais. De uma maneira geral, pode-se dizer, que chove mais na metade norte do Estado (ao norte da latitude 30°S) com totais superiores a 1500mm, do que na metade sul (ao sul de 30°S) com totais inferiores a 1500mm. Ao sul, a ocorrência de máximas de precipitação pluvial acontece no inverno, neste período a chuva é causada pela passagem das frentes frias. Embora o litoral e o centro do Rio Grande do Sul possuam maior número de dias de chuva, no planalto ocorrem os maiores totais anuais. Toda a faixa litorânea, centro e sul acumulam, ao final do ano, menos chuva do que o planalto. Na escala de tempo interanual uma forte influência do fenômeno ENOS foi observada nos valores máximos e mínimos de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. O El Niño ocorreu em 53% e La Niña ocorreu em 22% dos anos no período 1967-1998. (BRITTO, BARLETTA, MENDONÇA, 2008).

2.3. Dados pluviométricos e registros pluviográficos

A coleta e o armazenamento de dados pluviográficos no Brasil encontram-se dispersos em grande número de instituições como o Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET), Agência Nacional de Águas (ANA), Companhia de Pesquisa em Recursos Minerais (CPRM), órgãos municipais e institutos de pesquisa. Não existe um esforço no nível nacional de compilação e disponibilização destas informações. A ANA apesar da sua política de consolidação e disponibilização gratuita de dados hidrológicos de forma geral, não possui atribuições formais sobre drenagem urbana, de forma que gerencia os dados de poucas estações pluviográficas, estando mais focada no monitoramento pluviométrico (em escala diária). Boa parte dos pluviógrafos instalados em meados do século XX não estão mais operantes ou, pelo menos, não há disponibilidade de dados (GONÇALVES, 2011).

O monitoramento hidrometeorológico no Brasil remonta o século XIX, com os trabalhos realizados pelo Departamento Nacional de Obras contra a Seca (DNOCS) e pelo INMET, bem como pelas estações da São Paulo Light and Power (1909) e pela Mineração Morro Velho, em Nova Lima, Minas Gerais, cujos registros de chuva datam de 1855. Desde então, a rede hidrometeorológica tem crescido buscando ampliar o conhecimento hidrológico do País. Desde 2000, com a criação da ANA, o monitoramento hidrometeorológico é realizado a partir da operação contínua da Rede Hidrometeorológica Nacional, gerenciada pela ANA. Grande parte da rede de monitoramento em operação no Brasil está cadastrada na ANA, mais especificamente na base de dados Hidro e as informações oriundas desse monitoramento encontram-se disponíveis no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) e no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (Snirh). A análise da densidade de estações pluviométricas e fluviométricas em operação por região hidrográfica brasileira revela que existem desigualdades regionais e que as menores densidades situam-se na Região Norte e parte da Região Centro Oeste (ANA, 2012).

Para o cálculo da Erosividade, são necessários registros pluviográficos, que são de difícil obtenção no Brasil. Além disso, o processamento e análise destes dados é bastante lento e trabalhoso, fazendo com que informações relativas à erosividade estejam disponíveis apenas para pequeno número de localidades no Brasil (MOREIRA et al., 2006). É necessário ampliar e qualificar o conhecimento hidrológico, sem se descuidar da manutenção e continuidade das séries históricas de dados hidrometeorológicos no território brasileiro, coletando e disponibilizando para a sociedade, uma significativa quantidade de dados com a qualidade esperada.

2.4. Desagregação da chuva diária

A escassez de registros pluviográficos e/ou pequenos períodos de observação dificultam a obtenção de índices de erosividade das chuvas intensas (BACK, 2009) e de relações IDF (Intensidade, Duração e Frequência) de chuvas. E quando existentes exigem exaustivo trabalho para tabulação, análise e interpretação de uma grande quantidade de pluviogramas (CECÍLIO; PRUSKI, 2003).

No Brasil, algumas metodologias foram desenvolvidas com vista à obtenção de chuvas de menor duração a partir de registros pluviométricos, devido à existência, no território nacional, de uma vasta rede pluviométrica (SOUZA et al., 2012). O método que desagrega as chuvas diárias em chuvas de 24 horas de duração e menores possibilita estimar as intensidades. (DAMÉ et al., 2006). Segundo Back (2009), o método da desagregação apresenta a vantagem de ser de uso simples e fornecer resultados satisfatórios e com grande similaridade para diferentes localidades para as quais os coeficientes foram gerados o que lhe outorga validade regional.

A desagregação de totais de chuvas máxima de 24 horas de duração em totais correspondentes para durações menores é freqüentemente realizada com os chamados coeficientes de desagregação de chuvas. Esta prática é usada, normalmente, para estabelecer relações de IDF (intensidade, duração e frequência) em locais que dispõem somente de dados diários medidos com pluviômetros convencionais (BERTONI e TUCCI, 2002).

Visando à obtenção das chuvas de menor duração, a partir dos dados pluviométricos diários, Bell (1969) apresentou relações para estimar a altura da chuva com duração de até 120min a partir da chuva com duração de uma hora e período de retorno de 10 anos. Torrico (1975) desenvolveu a metodologia das isozonas, que pode ser aplicada em todo o território nacional.

Robaina (1996) avaliou a técnica da desagregação de chuvas de 24h para 32 localidades do estado do Rio Grande do Sul e recomenda o uso da metodologia em localidades onde não há disponibilidade de registros pluviográficos. Para o município de Pelotas no Rio Grande do Sul, Damé et al. (2008) utilizaram séries sintéticas de precipitação para a estimativa das relações IDF. Damé et al. (2010) compararam os hidrogramas de projeto resultantes dos hietogramas estimados pelas relações IDF

de precipitação obtidos por dados pluviométricos e pluviográficos, para a localidade de Pelotas/ RS.

Na desagregação da chuva diária o primeiro passo é a obtenção da chuva em 24h; já com os dados dos pluviômetros se obtém as chuvas máximas de 1 dia, que diferem das máximas em 24h, em virtude das leituras serem realizadas sempre no mesmo horário e, portanto, podem, em alguns eventos, ser inferiores ao máximo em 24h (BACK, 2009).

As alturas pluviométricas das chuvas máximas de “24 horas” e de “um dia” guardam uma relação quase constante, independentemente do período de retorno, cujo valor encontrado no Brasil é de 1,14, semelhante ao valor adotado pelo U.S.Weather Bureau, que é de 1,13 (OCCHIPINTI & SANTOS, 1966). Portanto, a partir de chuvas diárias, podem-se obter chuvas de 24 horas de duração com determinada frequência e desagregá-las para durações menores, utilizando as relações propostas na Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) da Secretaria do Meio Ambiente/SP (CETESB, 1986).

Os coeficientes de desagregação existentes na literatura técnico-científica do país são apresentados na forma de tabelas como índices em cascata. Multiplica-se a altura pluviométrica de 1 dia pelo fator que resulta na chuva de 24h e assim sucessivamente em função do fator relacionado à duração (SILVEIRA, 2000). Segundo Back et al. (2012), no Brasil são largamente empregadas as relações entre durações publicadas pela CETESB (1986).

Silveira (2000) elaborou uma equação a partir de coeficientes de desagregação de chuvas médios do Brasil (CETESB, 1986), uma equação obtida empiricamente que retorna, com pequeno erro, o valor do coeficiente de desagregação da chuva máxima para durações inferiores a 24 horas em função da altura de chuva máxima de 24 horas. A equação obtida, ao permitir o cálculo do coeficiente de desagregação a partir da chuva de 24 horas, exclui, por consequência, o coeficiente de desagregação que multiplica a chuva máxima diária (dado do pluviômetro) para obter a correspondente chuva máxima de (quaisquer) 24 horas. A equação obtida pode substituir os coeficientes tabelados do DAEE/CETESB (1986), além de permitir uma flexibilidade de cálculo para qualquer outra duração (exceto abaixo de 5 min). Propicia também uma aplicação mais fácil em calculadoras programáveis, planilhas eletrônicas e códigos de programação.

2.5. Erosão e Erosividade

O solo é um recurso natural e desempenha funções fundamentais como a produção de biomassa, o armazenamento, a filtragem e a transformação de nutrientes e água, funcionando como uma reserva da biosfera e reservatório de carbono (MATEUS, 2008).

A erosão do solo é um processo mecânico que envolve energia. A erosão do solo provocada pela chuva é denominada de erosão hídrica. A energia necessária para desencadear o processo de erosão hídrica do solo é proveniente da água das chuvas e do escoamento superficial, especialmente a energia cinética do impacto das gotas de chuva sobre a superfície do solo. As chuvas que tem capacidade de provocar erosão são denominadas de chuvas erosivas (WISCHMEIER, 1959).

O processo de erosão hídrica envolve a desagregação de partículas do solo da sua massa original, o transporte e a eventual deposição dessas partículas (CASSOL et al. , 2008). Transporta preferencialmente os sedimentos mais finos, de menor diâmetro e de baixa densidade, constituídos sobretudo de colóides minerais e orgânicos e normalmente enriquecidos de elementos minerais (BERTOL et al., 2007). Condições geomorfológicas associadas a hidrologia afetam fortemente a dinâmica da erosão, e o processo de mobilização, deposição e transporte, bem como transferência de sedimentos para a calha fluvial (MINELLA et al., 2010).

O solo faz parte de um ecossistema e portanto está sujeito as variações dos outros componentes, em especial clima, vegetação e sistema hídrico. A erosão hídrica também faz parte do ecossistema e está relacionada com o escoamento superficial, que é a fase do ciclo hidrológico correspondente ao conjunto das águas que sob a ação da gravidade, se movimentam na superfície do solo. Os fatores que contribuem com o escoamento superficial. podem ser de natureza climática, relacionados à precipitação ou de natureza fisiográfica ligados às características físicas da bacia. (SILVA, 1999).

A erosividade das chuvas, definida como o potencial da chuva em causar erosão no solo, é função exclusivamente das características físicas da própria chuva, entre as quais são citados sua quantidade, intensidade, diâmetro de gotas, velocidade terminal e energia cinética. Pesquisas têm demonstrado que as

características da chuva que proporcionam as correlações mais elevadas com as perdas de solo são a intensidade e a EC (MORETI et al., 2003).

A erosividade é considerada como o fator mais ativo da erosão hídrica e pode ser expressa por índices de erosividade como o EI30 e $KE > 25$ (MONTEBELLER et al., 2007). Em regiões de clima temperado, o índice EI30, que é expressa pelo produto da energia cinética da chuva pela intensidade máxima em 30min, é o melhor estimador da erosividade da chuva (Wischmeier, 1959), sendo utilizado para estimar o valor do fator R da Equação Universal da Perda de Solo (USLE). Em regiões de clima tropical onde o uso de EI30 não tem proporcionado os melhores resultados na estimativa de perda de solo e a intensidade das chuvas pode ultrapassar $150\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ foram desenvolvidos outros índices, como o $KE > 25$, que baseia-se no fato que as chuvas só se tornam erosivas quando sua intensidade supera $25\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$. O $KE > 25$ é a soma das energias cinéticas das chuvas com intensidade maior do que $25\text{mm}\cdot\text{h}^{-1}$ (MACHADO et al; 2013).

No contexto da variação da suscetibilidade do solo, a erosão causada por mudanças sazonais na cobertura vegetal de proteção, a distribuição temporal ao longo do ano e o calendário de eventos mais intensos são elementos importantes para a análise da erosividade. A erosividade não é distribuída uniformemente ao longo do ano, são necessários mapas contínuos de risco e padrões temporais para a avaliação da erosão do solo. A interpolação da erosividade das chuvas é um desafio devido a alta variabilidade temporal e espacial do fator erosividade em séries de longa duração e boas covariáveis são necessárias (MEUSBURGER et al, 2012).

Nos diversos estudos de determinação da erosividade média anual para diferentes regiões brasileiras, os valores se enquadram na faixa de variação de 3.116 a $20.035\text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$ encontrada por Silva (2004) por meio de mapa de erosividade da chuva para o Brasil.

O período de retorno (T), definido como o período em anos em que um evento máximo anual pode ser igualado ou excedido pelo menos uma vez, em média, a cada T anos é outro fator importante para o planejamento conservacionista de uma região, sendo um importante parâmetro da erosividade. Segundo Moretti et al (2003b) o uso de índices de erosividade associado a períodos de retorno pode ser mais útil do que simplesmente a erosividade média anual, podendo ajudar a resolver problemas específicos relacionados a aspectos econômicos e ecológicos. A avaliação dos períodos de retorno e da probabilidade de ocorrência da erosividade

anual das chuvas possibilita criar previsões da freqüência com que as estimativas de perda de solo são sub ou superestimadas (CASSOL et al., 2008).

Machado et al (2010) definiram conservação do solo como uma combinação de todos os procedimentos de uso e manejo do solo que resultem na sua proteção contra a deterioração por fatores naturais ou antrópicos. Os impactos econômicos da erosão são elevados quando as taxas de erosão ultrapassam os valores toleráveis. Na maioria dos solos, esta taxa, denominada de tolerância, está entre 9 a 12ton.ha⁻¹ano⁻¹, sendo menor para solos menos profundos. Considerando que, na média, as taxas de erosão no Brasil estão na faixa de 15 a 20ton ha⁻¹ano⁻¹, podemos concluir que nosso sistema produtivo ainda não é economicamente sustentável no longo prazo (SANTOS, DOMINGUES, GISLER, 2010).

2.6. Modelos Hidrossedimentológicos

Diversos modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos e aperfeiçoados, desde o século passado, com o intuito de prever a magnitude das perdas de solo por erosão, visando implementar ferramentas que possibilitam avaliar estas perdas, principalmente em locais onde são superiores aos limites toleráveis, com o propósito de auxiliar no planejamento agrícola. Os modelos de predição de erosão do solo evoluíram de modelos empíricos, tais como a Universal Soil Loss Equation (USLE) e a Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), para modelos baseados em princípios teóricos, como o Water Erosion Prediction Project (WEPP) (AMORIM, 2010). A Equação Universal de Perdas de Solo Revisada – RUSLE e o Projeto de Predição de Erosão Hídrica – WEPP foram desenvolvidos devido ao avanço da informática que permitiu o desenvolvimento de procedimentos baseados em técnicas de simulação, que possibilitam considerar as variações espaciais e temporais dos fatores condicionantes do processo erosivo (CECÍLIO et al, 2009).

A equação universal de perda de solo (USLE), proposta por Wischmeier & Smith (1978), prediz a perda média anual de solo que poderá ocorrer em uma área cultivada. A USLE é um dos modelos de erosão mais utilizados em todo o mundo, sendo caracterizado por uma equação empírica que é função de fatores que representam o clima, o solo, o relevo, o uso e o manejo do solo (MERRITT et al., 2003). A USLE é representada pelo produto de seis variáveis, sendo R o fator erosividade da chuva, K o fator erodibilidade do solo, L o fator comprimento do

declive, S o fator grau do declive, C o fator uso, manejo e cobertura do solo e P o fator práticas conservacionistas de suporte do solo. A MUSLE é uma Modificação da Equação Universal de Perda de Solos (USLE) desenvolvida para a estimativa da erosão média em vertentes (Wischmeier & Smith, 1978), e calculada para um único evento de precipitação.

Faltam parâmetros ajustados às condições locais e dados para entrada nos modelos. Esta é a principal limitação no uso de modelos para determinado local ou região. Mesmo para a USLE e todos os modelos que utilizam seus parâmetros, faltam dados, as informações estão dispersas e muitas vezes não publicadas. Em função disso, os resultados obtidos com esses modelos têm um caráter qualitativo, mais do que quantitativo. Pode-se comparar em um mesmo estudo regiões com maior ou menor risco de erosão, maior ou menor produção de sedimentos, maior ou menor volume de escoamento superficial, mas não valores de perdas de solo ou volume de sedimentos que chegam aos cursos de água. Não é possível ter informações mais exatas do que a exatidão dos dados de entrada. Não é possível obter melhor estimativa da perda do solo com modelos físicos ou com modelos com mais equações, se não há informações básicas suficientes sobre o clima e o solo locais (DE MARIA, 2010).

2.7 Distribuição espacial da erosividade

No Brasil, os índices de erosividade vêm sendo utilizados no traçado de mapas de linhas isoerosivas, realizadas através de interpolação, tornando-se uma alternativa para a escassez de dados que possibilitem a determinação em localidades que carecem de tais informações (GONÇALVES et al., 2006).

A disponibilidade de um mapa de erosividade da chuva é uma questão fundamental não só para a erosão do solo e avaliação de risco a escorregamentos, mas também para a gestão agrícola e as práticas de conservação de solo (MEUSBURGER et al, 2012). Na atualidade, trabalhar variáveis hidrometeorológicas em um sistema de informações geográficas (SIG) permite distribuir espacialmente uma grande quantidade de dados, de forma rápida e dinâmica. Este conhecimento em grande escala de uma área auxilia no entendimento do comportamento destas variáveis.

Na geração de superfícies para visualização de uma determinada característica de estudo, são gerados dados aonde não temos informação, pois geralmente não se conhece a sua distribuição em toda a área, isto é, os dados são gerados mediante modelagem matemática de forma analítica com base nos dados pontuais coletados. Essas superfícies são chamadas de Modelos Digitais de Terrenos (MDT) (BRASIL, CARVALHO, 2010).

São vários os algoritmos utilizados para a geração da superfície e as técnicas usados no processo de interpolação (Landim, 2000), pode-se citar: Krigagem, Curvatura Mínima, Vizinho Mais Próximo, Função de Base Radial, Média Móvel, Polinômio Local e Inverso do Quadrado da distância (IQD). O IQD trata-se de um método de interpolação local e determinístico, comumente utilizado em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para geração de mapas a partir de dados pontuais (BRASIL, CARVALHO, 2010). A interpolação espacial é uma técnica usualmente adotada para estimar valores desconhecidos de uma função a partir de valores conhecidos da mesma função. Isto é, a criação de uma grade (grid) regular ou não, onde cada nodo terá um valor determinado (LANDIM, 2000).

Na utilização de métodos de interpolação, deve-se procurar utilizar àquele que, em função do objetivo almejado, apresente facilidade de ser entendido; rapidez de processamento; fidelidade aos dados originais; agilidade para uma visualização rápida; geração de superfícies que podem ser interpoladas entre os pontos observados; encontrados nos softwares disponíveis; estimativa de valores dentro do universo amostral possível; capaz de contemplar tanto as tendências regionais quanto a localização de anomalias (FARIAS et al., 2011).

As técnicas de interpolação geoestatísticas estão sendo amplamente aplicadas, mostrando melhor eficácia que as demais. Isto ocorre, principalmente, pelo controle de parcela do erro aleatório produzido pela influência espacial mútua entre as amostras, conhecida como dependência espacial (MELLO, 2007). A aplicação de técnicas que permitam o mapeamento de variáveis climáticas pode produzir resultados satisfatórios para o bom entendimento da distribuição dessa variável no espaço. A qualidade da interpolação espacial de dados climáticos depende da densidade e da distribuição dos pontos usados no cálculo, além da existência de correlação entre os modelos estatísticos dos interpoladores e os fenômenos em estudo. (CASTRO et al., 2010).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local de estudo

A BLM está localizada entre os paralelos 31°30' e 34°30'S e entre os meridianos 52° e 56°O (Fig.1) correspondendo a uma superfície de aproximadamente 62.250km², dos quais 29.250km² (47%) em território brasileiro (Fig.2) e 33.000km² (53%) em território uruguaio (IPH, 1998).



Figura 1 - Localização da Bacia Hidrográfica da Lagoa Mirim.no território brasileiro.
Fonte: DRH-SEMA, 2013

A vazão afluyente à Lagoa Mirim e ao canal São Gonçalo é de 787m³.s⁻¹ e o tempo de residência das águas no corpo lagunar aproxima-se de 205 dias. O

principal uso das águas é a irrigação das lavouras de arroz, tanto em território brasileiro, como no uruguaio, podendo atingir 400m³/s (VILLANUEVA, 1988).

São 20 os municípios que se encontram parcial ou integralmente na BLM: Aceguá, Arroio Grande, Arroio do Padre, Bagé, Candiota, Canguçu, Capão do Leão, Cerrito, Chuí, Herval, Hulha Negra, Jaguarão, Morro Redondo, Pedras Altas, Pedro Osório, Pelotas, Pinheiro Machado, Piratini, Rio Grande e Santa Vitória do Palmar. As margens da Lagoa dos Patos e do canal São Gonçalo localiza-se o município de Pelotas (Fig. 2).

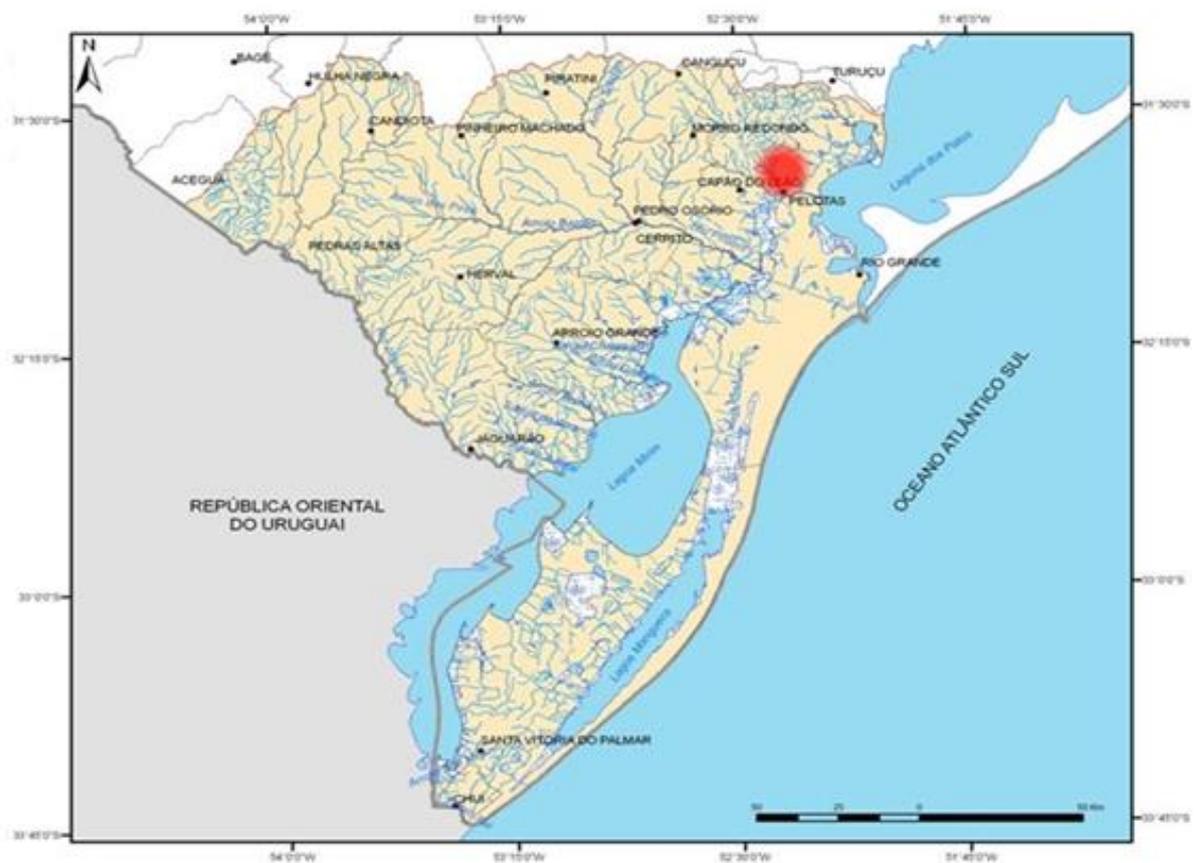


Figura 2 – Mapa com a localização dos 20 municípios que se encontram total ou parcialmente na BLM. Fonte: DRH-SEMA, 2013.

3.2. Precipitação Pluvial

3.2.1. Fluxograma das metodologias aplicadas

Para facilitar o entendimento apresentamos o fluxo das metodologias utilizadas para o cálculo de EI30 no município de Pelotas (Fig.3).

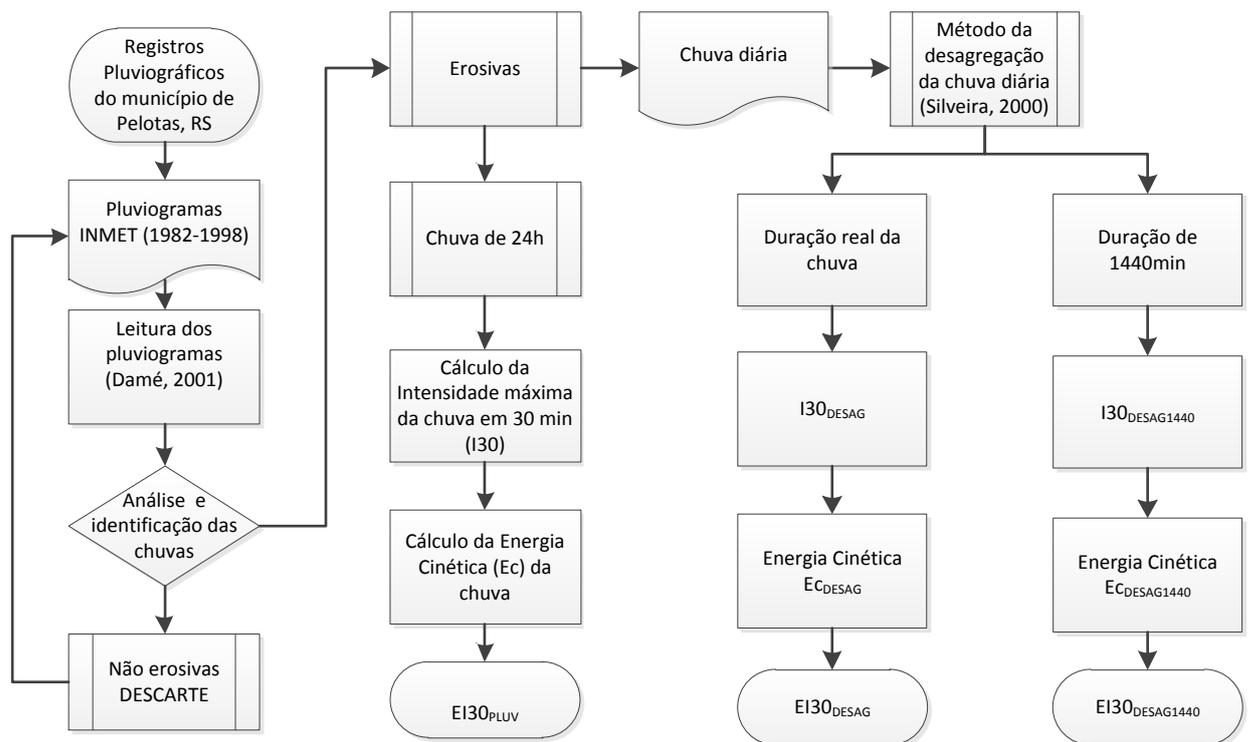


Figura 3 – Fluxuograma do cálculo da erosividade.

3.2.2. Registros pluviográficos do município de Pelotas

Os registros pluviográficos foram obtidos da Estação Climatológica de Pelotas/RS (convênio INMET-EMBRAPA-UFPel), localizada na latitude 31°45', longitude 52°21' e altitude 13m e analisados por Damé (2001). Os pluviogramas analisados por Damé (2001), para a referida estação no período de 1982 – 1998, N = 17 anos, foram utilizados para a identificação e seleção das chuvas erosivas.

3.2.2.1. Identificação das chuvas erosivas do município de Pelotas

A partir dos pluviogramas de cada chuva foi seguido o critério de Wischmeier & Smith (1978), que consideram erosivas àquelas chuvas individuais que forem maiores ou iguais a 10mm, ou, maiores ou iguais a 6,0mm, desde que ocorram em, no máximo, 15min e, separadas entre si por um período de no mínimo 6h, com uma lâmina de chuva de 1,0mm ou menos.

Para a identificação das chuvas erosivas utilizando dados de chuva diária foi necessário adaptar os critérios Wischmeier & Smith (1978), visto que não é possível identificar eventos separados entre si por um período de no mínimo 6h, bem como a chuva com lâmina maior ou igual a 6mm na duração de 15min, visto que a desagregação foi realizada para intervalos de 30min. Frente a esta situação, foi considerada chuva erosiva àquela cuja lâmina diária for igual ou maior que 10 mm.

3.2.2.2. Desagregação da chuva diária para o município de Pelotas

A desagregação da chuva diária foi realizada utilizando a equação (1) conforme Silveira (2000), que está apresentada nos trabalhos de Damé et al. (2010) e Teixeira et al. (2011).

$$P_t = 1,1 * \text{EXP}(1,5 * \text{LN}(\text{LN}(t * 60) / 7,3)) * P_{\text{dia}} \quad (1)$$

Os valores de P_t e “t” representam a altura da lâmina precipitada (mm) e a duração (h), respectivamente, enquanto que P_{dia} é a precipitação acumulada no intervalo de tempo de um dia.

Para o município de Pelotas, testou-se o método da desagregação da chuva diária utilizando a chuva diária (P_{dia}) retirada dos registros pluviográficos e esta lâmina foi desagregada para duas durações, a primeira da chuva erosiva real retirada do pluviograma (DESAG) e a segunda de 1440min (DESAG1440). A desagregação foi realizada utilizando o intervalo de tempo de 30min.

3.2.2.3. Estimativa da I30 a partir de registros pluviográficos e de chuva diária desagregada.

Na análise das chuvas erosivas identificadas nos pluviogramas, obtiveram-se os valores de intensidades em cada segmento uniforme de chuva, identificou-se o maior valor de intensidade ocorrido e a duração em que este ocorreu. Quando a duração foi maior ou igual a 30min, o valor de intensidade identificado foi assumido como sendo a I30. Ao contrário, quando a duração em que foi identificado o maior valor de intensidade, foi inferior a 30min, buscou-se na vizinhança deste alternando valores acima e abaixo até completar os 30min e, calculou-se a média aritmética ponderada, cujo denominador era a duração desejada (30min), o numerador, a duração em que ocorreu o segundo valor de intensidade máxima e, o coeficiente multiplicador, o valor de intensidade máxima (Fig.4).

INTENSIDADE MÁXIMA DE CHUVA EM 30 MIN

<i>o</i>	<i>Tempo</i>	<i>Chuva</i>	<i>Chuva</i>	<i>Int de</i>	<i>E</i>
<i>alo</i>	<i>acumulado</i>	<i>intervalo</i>	<i>acumulado</i>	<i>(mm/h)</i>	<i>C</i>
	10	00:10	0.8	0.8	4.8
	35	00:45	0.8	1.6	1.4
	10	00:55	1.2	2.8	7.2
	15	01:10	2.6	5.4	10.4
	40	01:50	0.9	6.3	1.4
	55	02:45	0.3	6.6	0.3
	50	03:35	2.6	9.2	3.1

$$I_{30} = 10.4 \cdot 15/30 + 7.2 \cdot 10/30 + 1.4 \cdot 5/30 = 7.8 \text{ mm.h}^{-1}$$

Figura 4 – Demonstração do cálculo de I30 utilizando registros pluviográficos

Para o cálculo da intensidade de chuva quando utilizada a desagregação, os valores de chuva foram desacumulados para que se conhecesse a chuva em cada um dos intervalos de tempo e, por relação com a duração, fossem conhecidas as intensidades da chuva.

3.2.2.4. Estimativa da EC das Precipitações pluviiais erosivas

Para ambos os métodos o cálculo da EC é semelhante. Inicialmente determina-se a EC da gota de chuva, utilizando os valores de intensidades em cada segmento de chuva que foi considerado uniforme (equação 2). A seguir pelo produto da energia da gota pela altura da lâmina no segmento (equação 3) calcula-se a EC da chuva no segmento uniforme. Finalmente, o somatório dos valores EC em cada segmento uniforme culmina no valor da EC_t da chuva considerada erosiva (equação 4).

$$EC = 0,119 + 0,0873 * \log(I) \quad (2)$$

$$EC_s = EC * h \quad (3)$$

$$EC_t = \sum EC_s \quad (4)$$

Em que EC é a energia cinética da gota da chuva em ($MJha^{-1}mm^{-1}$), I a intensidade em mmh^{-1} , EC_s a energia cinética em cada segmento uniforme ($MJha^{-1}mm^{-1}$), h é a lâmina precipitada (mm) e, EC_t é a energia cinética total da chuva ($MJha^{-1}mm^{-1}$).

3.2.2.5. Estimativa das erosividades mensais e anuais obtidas a partir de registros pluviográficos e de dados de chuva diária desagregada

O índice de erosividade para o município de Pelotas calculado através de registros pluviográficos ($EI_{30_{PLUV}}$), considerado neste estudo como referência, foi obtido através da equação (5), onde primeiramente calcula-se a erosividade para cada chuva,

$$EI_{30_{PLUV}} = EC_t * I_{30_{PLUV}} \quad (5)$$

Utilizando o método da desagregação da chuva diária a erosividade foi calculada utilizando a equação (6) e (7), conforme a duração utilizada.

$$EI30_{DESAG} = Ect * I30_{DESAG} \quad (6)$$

$$EI30_{DESAG1440} = Ect * I30_{DESAG1440} \quad (7)$$

Para ambas metodologias o somatório das erosividades de cada chuva do mês nos fornecem a erosividade mensal e a de todos os meses, a erosividade anual.

3.2.2.6. Período de retorno e probabilidade de ocorrência

O período de retorno e a probabilidade de ocorrência da erosividade anual foram determinados conforme Schwab et al. (1981), por meio das seguintes expressões:

$$T = \frac{(N + 1)}{m} \quad (8)$$

$$Pr = \frac{100}{T} \quad (9)$$

onde:

T é o período de retorno, no qual o índice de erosividade é igualado ou superado; N é o número de anos de registro de dados; m é o número de ordem do índice de erosividade da série considerada, quando a erosividade é colocada em ordem decrescente de magnitude e Pr é a probabilidade de ocorrência do índice de erosividade, em porcentagem

3.2.2.7. Validação da Metodologia

Para verificar a normalidade dos dados foi aplicado o teste de Anderson-Darling (1952), indicado por ser o mais adequado quando o número de elementos da amostra é inferior a 25. Aplica-se o teste para as diferenças entre os pares de dados de erosividade ($EI30_{PLUV} - EI30_{DESAG}$) e ($EI30_{PLUV} - EI30_{DESAG1440}$). Sendo: H0: os

valores de EI30 apresentam-se distribuídos normalmente; H1: os valores de EI30 não apresentam distribuição normal.

Na aceitação de H_0 se admite que existe uma probabilidade de $1 - \alpha$ que os dados possuam distribuição normal e na sua rejeição se admite que não há evidências estatísticas que os dados possuam distribuição normal.

Para realizar o teste utilizou-se as seguintes equações:

$$A = -n - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [2i - 1][\ln(p_i) + \ln(1 - p_{n-1+1})] \quad (10)$$

Em que “n” é o número de elementos da amostra e p_i é obtido a partir da estatística “Z” determinada pela expressão:

$$Z = \left(1.0 + \frac{0.75}{n} + \frac{2.25}{n^2}\right)A \quad (11)$$

Na comparação da estatística calculada pelo teste escolhido e o valor crítico, se $Z_{\text{calc}} < Z_{0,05}$, então os dados seguem a distribuição normal e aceita-se H_0 .

O teste F, para a comparação de variância, comparou as séries obtidas por EI30 médios mensais calculados pela metodologia de Wischmeier & Smith (1978) utilizando registros pluviográficos (EI30_{PLUV}) com os valores desse mesmo parâmetro obtidos por desagregação da chuva diária, utilizando dados de chuva diária (EI30_{DESAG} e EI30_{DESAG1440}).

No caso da comparação entre as variâncias desses valores testou-se a hipótese de nulidade de que não há diferença significativa num nível α de probabilidade de 0,05 entre as variâncias dos valores médios mensais de EI30_{PLUV} e de EI30_{DESAG} ou EI30_{DESAG1440}. Aceitou-se a hipótese de nulidade quando o valor da estatística calculada foi menor que seu valor crítico para α igual a 0,05.

Depois de definidas a normalidade dos dados e de que não existe diferença significativa entre as variâncias aplicou-se o teste “t” de Student para a comparação das médias mensais de $EI30_{PLUV}$ com $EI30_{DESAG}$ e $EI30_{DESAG1440}$.

A hipótese de nulidade testada, no caso da comparação das médias (teste t) foi a afirmativa de que, não há diferença significativa num nível α de probabilidade de 0,05 entre os valores médios mensais de erosividade obtidos mediante registros pluviográficos e àqueles obtidos por desagregação da chuva diária.

O teste t foi também empregado para testar a hipótese de nulidade para o coeficiente angular “b” obtido pelo ajuste linear entre os valores de $EI30_{PLUV}$ com $EI30_{DESAG}$ e $EI30_{DESAG1440}$.

Para medir a extensão do erro entre os valores de erosividade calculados pelos registros pluviográficos e pelo método da desagregação da chuva diária, ou seja sua precisão, foi utilizado o Erro Padrão da Estimativa (EPE) calculado conforme a equação (8).

$$EPE = \sqrt{\frac{\sum(EI30_{PLUV} - EI30_{estimado})^2}{n}} \quad (8)$$

Em que: $EI30_{estimado}$ é $EI30_{DESAG}$ ou $EI30_{DESAG1440}$.

3.2.3. Dados pluviométricos da Bacia da Lagoa Mirim (lado brasileiro)

Este estudo foi realizado com dados de chuva diária de 26 estações meteorológicas localizadas na BLM lado brasileiro e sua área de influência, disponibilizados no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb) no site da ANA, referentes ao período de 1977 a 2011 (Fig. 5). De 43 estações localizadas na Bacia e em sua área de influência foram escolhidas somente 26 porque esta seleção foi a que oferecia o maior número de pontos de observação, com séries de 34 anos sem falhas e com boa distribuição espacial.

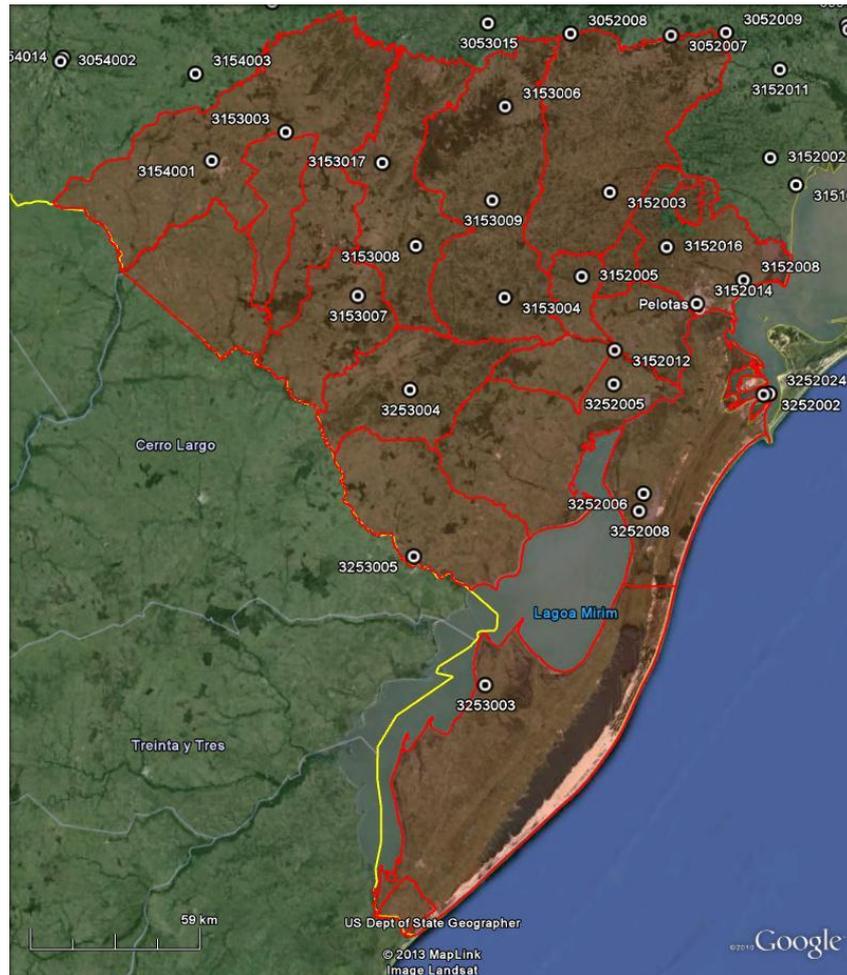


Figura 5 - Distribuição espacial das estações pluviométricas localizadas na BLM e área de influência utilizadas no estudo da Erosividade.

Na tab. 1 encontra-se a listagem com o código e o nome das 26 estações pluviométricas utilizadas neste estudo, o município em que estão localizadas, suas coordenadas geodésicas (latitude, longitude), altitude, a entidade responsável e a operadora.

Tabela 1 - Estações pluviométricas utilizadas para o cálculo da erosividade na BLM (EI30_{BLM1440}).

CÓDIGO	ESTAÇÃO	MUNICÍPIO	LAT	LONG	ALTITUDE	RESP.	OPERAD.
3253004	HERVAL	HERVAL	-32.02860	-53.39780	280,63	ANA	CPRM
3253003	GRANJA OSÓRIO	S. V. PALMAR	-32.95390	-53.11890	6,70	ANA	CPRM
3252008	GRANJA SANTA MARIA	RIO GRANDE	-32.40440	-52.55580	11,47	ANA	CPRM
3252006	GRANJA CERRITO	RIO GRANDE	-32.34940	-52.53970	9,81	ANA	CPRM
3252005	GRANJA CEL. P. OSÓRIO	ARROIO GRANDE	-32.00610	-52.65280	23,07	ANA	CPRM
3153008	PINHEIRO MACHADO	PINHEIRO MACHADO	-31.57750	-53.37690	424,51	ANA	CPRM
3153007	PEDRAS ALTAS	PEDRAS ALTAS	-31.73330	-53.58810	367,30	ANA	CPRM
3153006	PASSO DA CAPELA	PIRATINI	-31.13420	-53.05390	243,62	ANA	CPRM
3153004	FERRARIA	PIRATINI	-31.73750	-53.05390	188,39	ANA	CPRM
3152011	PASSO DO MENDONÇA	CRISTAL	-31.00060	-52.04920	49,62	ANA	CPRM
3152008	GRANJA SÃO PEDRO	PELOTAS	-31.67280	-52.17780	10,22	ANA	CPRM
3152005	VILA FREIRE	CERRITO	-31.66940	-52.77280	184,72	ANA	CPRM
3152003	CANGUÇU	CANGUÇU	-31.40440	-52.67330	379,71	ANA	CPRM
3152002	BOQUEIRÃO	SÃO LOURENÇO DO SUL	-31.28390	-52.08310	115,59	ANA	CPRM
3054002	DOM PEDRITO	DOM PEDRITO	-30.97810	-54.67580	139,21	ANA	CPRM
3052016	PANTANO GRANDE	PANTANO GRANDE	-30.19830	-52.37250	50,49	ANA	CPRM
3052012	SERRA DOS PEDROSAS	ENCRUZILHADA DO SUL	-30.62530	-52.84000	318,08	ANA	CPRM
3052011	QUITERIA	SÃO JERÔNIMO	-30.41890	-52.07360	296,73	ANA	CPRM
3052008	PASSO DO MARINHEIRO	ENCRUZILHADA DO SUL	-30.90000	-52.81670	117,84	CEEE	CEEE
3052005	ENCRUZILHADA DO SUL	ENCRUZILHADA DO SUL	-30.54360	-52.52360	419,74	INMET	INMET
3052003	CAPIVARITA (CAPIVARI)	CAPIVARI DO SUL	-30.33330	-52.31670	98,45	DEPRC	DEPRC
3052002	CACHOEIRA DO SUL	CACHOEIRA DO SUL	-30.03330	-52.88330	59,98	INMET	INMET
3051017	FAZENDA DA BOA VISTA	CAMAQUÃ	-30.77190	-51.66030	41,47	ANA	CPRM
3051016	CAMAQUÃ	CAMAQUÃ	-30.86580	-51.79580	31,73	ANA	CPRM
3051004	CERRO GRANDE	CERRO GRANDE DO SUL	-30.59390	-51.75670	111,13	ANA	CPRM
83985	PELOTAS	PELOTAS	-31.78000	-52.41000	6,39	INMET	INMET

3.2.3.1. Estimativa da erosividade média mensal e anual para as estações pluviométricas selecionadas dentro da BLM lado brasileiro utilizando a técnica de desagregação da chuva diária.

Para a determinação da erosividade no âmbito da BLM lado brasileiro, os dados pluviométricos das 26 estações meteorológicas foram utilizados na constituição de séries contínuas de precipitação pluvial de 34 anos para cada estação meteorológica, apresentadas anteriormente (tab.1).

A identificação das chuvas erosivas seguiu a metodologia descrita no item 3.2.2.1, a intensidade da chuva foi calculada seguindo a metodologia do item 3.2.2.3 e para calcular a energia cinética foi utilizada a metodologia do item 3.2.2.4.

Após realizada a desagregação de chuva diária conforme item 3.2.2.2, calculou-se a erosividade através da equação (7).

3.2.3.2. Distribuição espacial de erosividade

Neste estudo foi considerado como área da BLM, a área envolvida pelo perímetro formado pelo divisor de águas da bacia hidrográfica e área de influência da BLM, aquelas áreas que mesmo não pertencendo a bacia contribuem para o cálculo da distribuição espacial.

Por possuir um número limitado de estações (26) foi preciso buscar um interpolador que pudesse ser utilizado com baixa densidade de pontos na área estudada e que gerasse um mapa representativo, foi então escolhido o IQD.

Para fazer a distribuição espacial da erosividade o primeiro passo é o cálculo das médias mensais para cada estação meteorológica gerando valores de erosividade associada a sua localização geográfica. Logo após realizou-se a distribuição das médias mensais na BLM utilizando a interpolação de dados pelo método do IQD, com isso gerando um mapa de distribuição do índice de Erosividade (SILVA, QUINTAS e CENTENO, 2007).

As equações utilizadas para o cálculo do IQD foram:

$$\hat{Z}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (9)$$

$$h_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \delta^2} \quad (10)$$

Onde:

h_{ij} é a distância efetiva de separação entre a localização j e o ponto vizinho i ;

\hat{Z}_j é o valor interpolado na localização j ;

Z_i são todos os pontos vizinhos;

d_{ij}^2 é a distância entre a localização j e o ponto vizinho i elevado a potência 2;

β é a potência de ponderação (parâmetro de potência);

δ é o parâmetro suavizador (no presente trabalho não foi utilizado nenhum parâmetro suavizador na aplicação do IQD).

Os dados das coordenadas x e y (latitude e longitude) das estações foram sempre os mesmos, apenas os dados de z se alteravam conforme o mapeamento desejado (média do mês, da estação ou do ano);

O resultado da modelagem gerou um modelo numérico do terreno (MNT) que passou a ser fonte para a geração de isoerodentes. A seguir foram calculadas as médias mensais e anuais para a BLM e para as unidades de mapeamento (municípios).

Através do cruzamento deste mapa com os polígonos das unidades geográficas, sejam municípios ou a bacia, utilizando o software Global Mapper, obtêm-se a estatística descritiva em cada unidade. Estes valores podem então ser comparados temporalmente, utilizando os próprios mapas ou gráficos de distribuição.

Para obter as informações de altitude nas unidades geográficas foi acessado o site Topodata - Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. O projeto Topodata oferece o Modelo Digital de Elevação (MDE) e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, elaborados a partir dos dados SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) disponibilizados pelo United States Geological Survey (USGS) na rede mundial de computadores (INPE, 2013).

3.2.3.3. Análise Estatística

Por não serem conhecidos os registros pluviográficos nos municípios em que foram determinados os valores de Erosividade, foram calculados para cada município as estatísticas descritivas de média, desvio padrão, máxima e mínima.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Precipitação Pluvial

No período de 1982-1998 a precipitação média anual no município de Pelotas foi de 1.385,6mm, valor superior ao da normal climatológica (INMET, 2013) que é de 1366,9mm (tab. 2). No estudo de Lago (2000) o valor de precipitação anual em Pelotas, obtida a partir de uma série histórica de 38 anos (1961-1998) foi de 1.322,0mm, menor que a determinada neste estudo e a da normal climatológica.

O ano 1998 foi o de maior pluviosidade, com o total de chuvas de 1.872,3mm, sendo fevereiro o mês de maior contribuição com 330,8mm. O ano de menor pluviosidade foi 1989 com 732,2mm, apresentando em julho o menor valor de pluviosidade com 8,1mm. Estes eventos se devem provavelmente aos fenômenos de El Niño (1997/98) e La Niña (1988/89), considerando-se que estes fenômenos geralmente iniciam-se no segundo semestre de um ano e terminam no primeiro semestre do ano seguinte, e que são caracterizados pelo aumento e diminuição do volume da precipitação, respectivamente. O El Niño de 1997/1998 foi considerado um episódio de grande intensidade. Trata-se do mais forte aquecimento do Oceano Pacífico Oriental, dos últimos 150 anos. Este evento foi responsável pela maioria das anomalias climáticas que aconteceram em diversas regiões do globo e, no caso do Brasil, pelo excesso de precipitação e grandes enchentes no Rio Grande do Sul (TERACINES, 2000). De acordo com Britto, Barletta e Mendonça (2008) os menores índices de precipitação pluvial, no período de 1967/1998, ocorreram durante os anos de 1988/1989, sendo o La Niña de 1988/1989 considerado o mais intenso dos episódios recentes no Brasil.

Segundo de Paula et al. (2010) o evento de El Niño (1997/1998) e o evento de La Niña (1988/1989) foram classificados como de intensidade forte, logo as características do fenômeno foram mais pronunciadas.

Observou-se ocorrência de chuvas em todos os 204 meses da série considerada, com valores variando de 7,8mm em maio de 1996 até 455,3mm em fevereiro de 1983 (tab. 2).

Os meses de fevereiro e julho apresentam as maiores médias mensais de precipitação pluvial, 189,7 e 129,5mm, representando juntos 23% do total precipitado em 12 meses, enquanto que março e maio são os meses que apresentaram as menores médias mensais, representando juntos 13% das chuvas do ano. (tab. 2). Comportamento semelhante foi observado na normal climatológica de Pelotas, referente ao período de 1971-2000, diferindo apenas no segundo mês menos chuvoso que foi novembro. Quanto á dispersão dos valores precipitados em relação a média, o menor valor de desvio padrão ocorreu no mês de julho (46,8%) e o máximo ocorreu em fevereiro (124,8%). A superestimação do valor do desvio padrão para este mês é devido ao total precipitado no ano de 1983 que foi de 455,3mm, enquanto que a normal climatológica (INMET, 2013) desse mês é de 153,3mm (tab. 2).

O coeficiente de variação dos valores mensais de precipitação pluvial foram superiores a 40%, indicando variabilidade na distribuição das chuvas, que pode ser atribuída à variação interanual da precipitação no Rio Grande do Sul. Segundo Britto, Barletta e Mendonça (2008), a pluviosidade varia em escalas de tempo interanuais, e tem uma forte influência do fenômeno ENOS nos valores máximos e mínimos de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul. O ENOS influencia também na intensidade dos sistemas atmosféricos de mesoescala que atuam no Estado.

Tabela 2 - Valores médios mensais e anuais da precipitação pluvial em Pelotas-RS no período de 1982-1998.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
	(mm)												
1982	63,6	120,1	45,0	10,9	113,3	102,1	141,4	199,1	202,0	110,8	102,9	65,2	1276,4
1983	117,7	455,3	40,4	44,1	87,2	131,7	143,2	93,6	51,5	61,3	158,0	69,3	1453,3
1984	235,0	208,9	59,0	155,3	263,6	179,7	112,0	89,9	223,1	109,8	52,0	23,5	1711,8
1985	62,2	40,3	130,0	54,8	74,5	136,0	135,8	174,3	130,8	52,3	38,5	52,9	1082,4
1986	154,3	155,8	168,8	158,7	218,9	106,9	39,6	131,2	80,7	137,7	163,3	79,0	1594,9
1987	72,2	62,0	150,8	195,6	83,5	33,3	216,5	350,6	125,2	75,4	76,5	75,0	1516,6
1988	143,1	110,6	34,9	68,3	25,4	87,1	79,9	35,3	148,9	73,3	79,0	25,2	911,0
1989	168,8	29,9	48,7	56,5	31,2	25,4	8,1	41,4	49,0	73,4	141,9	57,9	732,2
1990	109,0	366,8	177,9	92,8	39,2	15,6	62,4	34,5	153,9	62,2	119,3	168,4	1402,0
1991	16,5	29,4	91,3	229,9	104,3	141,4	125,7	36,3	94,9	207,1	186,3	79,0	1342,1
1992	75,5	278,2	125,2	217,5	81,8	143,1	133,4	45,1	135,0	76,6	71,5	114,0	1496,9
1993	144,3	140,1	31,3	86,3	199,3	79,4	133,6	61,1	29,2	151,0	164,1	147,6	1367,3
1994	188,2	252,0	73,8	48,4	104,5	109,3	149,2	79,2	76,1	209,3	34,8	66,5	1391,3
1995	67,9	176,7	131,5	105,4	43,5	138,7	430,9	80,2	142,3	62,7	61,9	113,8	1555,5
1996	160,4	175,5	36,3	93,9	7,8	60,0	20,1	119,7	64,4	131,0	24,3	127,8	1021,2
1997	79,3	292,2	59,8	42,0	93,7	103,2	153,6	167,1	126,2	186,5	181,6	343,4	1828,6
1998	178,4	330,8	135,2	277,7	116,8	143,9	116,0	271,3	120,6	8,9	61,6	111,1	1872,3
Média	119,8	189,7	90,6	114,0	99,3	102,2	129,5	118,2	114,9	105,3	101,0	101,2	1385,6
Normal	119,1	153,3	97,4	100,3	101	105,7	146	117,4	123,7	100,7	99,5	103,2	1366,9
DP	57,9	124,8	51,2	77,8	70,0	46,8	94,2	89,8	53,0	57,6	55,1	74,0	310,0
CV	48,3	65,8	56,5	68,3	70,5	45,8	72,8	76,0	46,1	54,7	54,5	73,2	22,4
Máx	235,0	455,3	177,9	277,7	263,6	179,7	430,9	350,6	223,1	209,3	186,3	343,4	1872,3
Mín	16,5	29,4	31,3	10,9	7,8	15,6	8,1	34,5	29,2	8,9	24,3	23,5	732,2

A Fig. 6 mostra o comportamento da precipitação pluvial nas estações do ano, observa-se declínio nos meses de primavera, crescimento nos meses de verão, decréscimo nos meses de outono e retomada do crescimento no período de inverno.

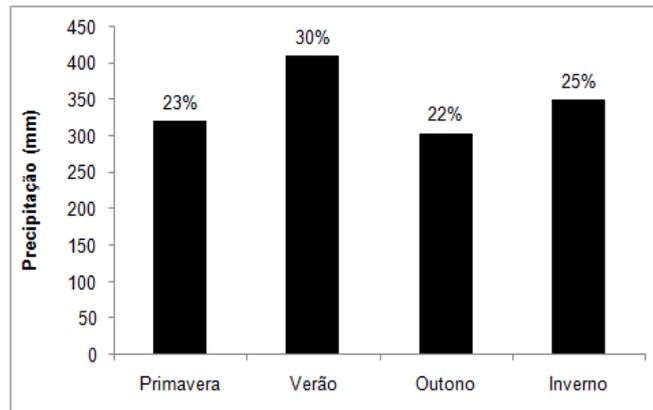


Figura 6 - Distribuição sazonal da precipitação pluvial em Pelotas-RS no período de 1982-1998.

O comportamento da chuva apresentado na figura 6 permite inferir sobre a distribuição uniforme da mesma, o que ocorre no estado do Rio Grande do Sul. Segundo Berlato (1992) no Rio Grande do Sul a precipitação pluvial é bem distribuída em todas as estações do ano (primavera 26%, verão 24%, outono 25% e inverno 25%).

4.2. Precipitações Erosivas

Este estudo utilizou uma série histórica de 17 anos e as médias mensais de precipitação do período variaram pouco em relação a normal climatológica, indicando uma boa representatividade da série. Foram analisadas 2.052 chuvas, destas 726 foram classificadas como erosivas, representando 35% do total. Pode-se observar que o mês que apresentou o maior número absoluto de chuvas foi Janeiro (213), porém somente 29,6% delas foram consideradas erosivas enquanto que fevereiro apresentou o segundo maior número com 207 chuvas representando 38,6%. Apesar disso, não foi o mês que apresentou o maior percentual relativo, pois o mês de agosto foi o que apresentou o maior percentual de chuvas erosivas em relação ao número total (tab. 3).

Tabela 3 - Número de precipitações pluviais analisadas e número de precipitações erosivas referente ao período de 1982-1998.

Mês	Número de Precipitações totais mensais	Número de Precipitações totais mensais erosivas (nº)	Precipitações totais mensais erosivas (%)
Jan	213	63	29,6
Fev	207	80	38,6
Mar	165	53	32,1
Abr	150	52	34,7
Mai	141	54	38,3
Jun	161	58	36,0
Jul	188	72	38,3
Ago	158	62	39,2
Set	196	58	29,6
Out	170	64	37,6
Nov	159	55	34,6
Dez	144	55	38,2
Anual	2052	726	35,4

Do total das chuvas ocorridas no período de 1982-1998 os meses que apresentaram menores percentuais mensais de precipitação erosiva foram janeiro e setembro ambos com 29,6% (tab. 3). Em Pelotas, do total anual de chuvas ocorridas 35,4% foram erosivas, semelhante aos valores encontrados para o município de Rio Grande/RS, onde Bazzano, Eltz, Cassol (2010) encontraram 32,6% do número total de chuvas. No entanto em trabalhos realizados em outros municípios da região sul do Brasil, Bertol et al. (2002) encontraram 45% de chuvas erosivas para Lages/SC e Bazzano Eltz, Cassol. (2007) observaram que no município de Quaraí/RS, 44% do número de chuvas foi considerado erosivo.

Da precipitação média anual de 1385,6mm, 82,3% (1140,8mm) foram consideradas erosivas (tab. 4), valor relativo inferior ao calculado para o município de Rio Grande/RS (Bazzano, Eltz, Cassol, 2010) de 99,3% e de Quaraí/RS (Bazzano, Eltz, Cassol, 2007) de 90%. Os meses de fevereiro e dezembro foram os que apresentaram os maiores percentuais de precipitações médias mensais de chuvas erosivas, 89,5% e 86,6% respectivamente (tab. 4).

Tabela 4 – Precipitação média mensal e anual das chuvas ocorridas e a precipitação média mensal e anual das chuvas erosivas do período de 1982-1998

Mês	Precipitação pluvial		
	Média mensal (mm)	Média mensal erosiva (mm)	Média mensal erosiva (%)
Jan	119,8	97,4	81,3
Fev	189,7	169,7	89,5
Mar	90,6	72,8	80,3
Abr	114,0	96,4	84,6
Mai	99,3	83,5	84,1
Jun	102,2	82,3	80,6
Jul	129,5	86,5	66,8
Ago	118,2	101,9	86,2
Set	114,9	91,8	79,9
Out	105,3	86,7	82,3
Nov	101,0	84,3	83,5
Dez	101,2	87,6	86,6
Anual	1385,6	1140,8	82,3

4.3. Intensidade de precipitação

O mês de julho apresentou a menor intensidade pluvial média mensal com 9.1mmh^{-1} e o mês de fevereiro a maior com 26mmh^{-1} em 30min (Apêndice 1). O período de ocorrência de chuvas mais intensas tem seu início em dezembro e termina em abril com destaque para o mês de fevereiro (Fig. 7). Este comportamento está associado aos sistemas de mesoescala (Sistemas convectivos de meso-escala -SCM) que ocorrem muito freqüentemente, especialmente durante o verão, sobre o Rio Grande do Sul e suas vizinhanças, produzindo chuvas que são muito intensas, ou até mesmo torrenciais ficando sujeito a adversidades que resultam de manifestações atmosféricas atípicas que se enquadram, dentre outras, entre os fenômenos de mesoescala (Yamazaki et et al., 2004)

Os meses de maio a julho apresentam a menor intensidade, e maiores volumes de precipitação pluvial, próprio de precipitações de longa duração e

pequena intensidade – precipitações ciclônicas ou frontais que são típicas do município. No mês de julho, a origem das chuvas é devido às frentes vindas do Uruguai e Argentina, caracterizando-se por serem de longa duração e menor intensidade e por isso, com menor potencial erosivo que as convectivas.

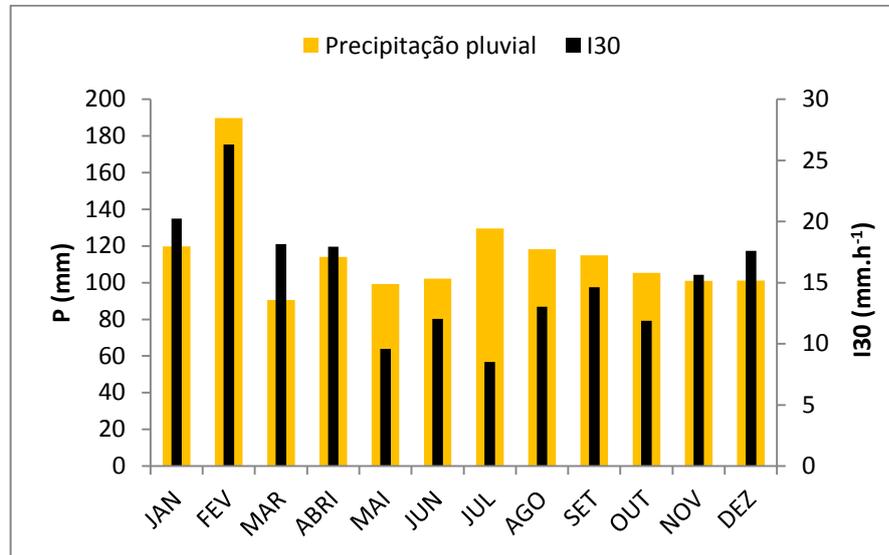


Figura 7 - Valores médios mensais de precipitação pluvial (P) e intensidade de chuva (I30) para o município de Pelotas-RS no período de 1982 a 1998.

Os sistemas frontais são os principais sistemas produtores de tempo responsáveis por precipitação pluviométrica no inverno no Rio Grande do Sul. Nesta estação do ano, a frente fria em superfície se apresenta com uma orientação mais noroeste/sudeste. A maior freqüência de passagens dos sistemas frontais acontece no período de inverno, por esta razão que as estações meteorológicas situadas próximas do litoral e no centro-sul, apresentam máxima taxa de precipitação pluvial neste período (BRITTO; BARLETTA; MENDONÇA, 2006)

Os picos de alta intensidade registrados em Santa Maria chegaram no máximo a 120mmh^{-1} em durações de até 20min. Todavia, outras regiões do Brasil, como, por exemplo, as regiões de Mococa e Pindorama, alcançaram intensidades máximas de $153,8$ e $202,2\text{mm h}^{-1}$ em 10min, respectivamente (Vieira et al., 1994; Vieira et al., 1998).

4.4. Erosividade (EI30) no município de Pelotas/RS

4.4.1. Erosividade (EI30_{PLUV}) a partir de Registros Pluviográficos

Na tab. 5 são apresentados os valores mensais, anuais e médios do índice de erosividade EI30_{PLUV} com os respectivos, desvio padrão e coeficientes de variação, bem como a amplitude de variação calculados a partir dos registros pluviográficos.

O valor de EI30_{PLUV} para Pelotas/RS – valor médio anual da erosividade da chuva – encontrado neste estudo foi de 5.992,3MJmmhá⁻¹h⁻¹ano⁻¹, apresentando grande variabilidade entre os anos estudados (tab. 5). Estas oscilações podem ter como origem as várias ocorrências de El Niño, os quais alteram positivamente os padrões de precipitação na região. Para de Paula et al (2010) o potencial erosivo das chuvas em Santa Maria é alterado pelo fenômeno ENOS e um maior número de chuvas tem maior potencial erosivo em anos Neutros e de El Niño.

Com base em informações do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC, 2013), no período estudado de 1982 a 1998 ocorreram El Niño de intensidade forte nos anos de 1982-1983, 1990-1993 e 1997-1998 e de intensidade moderada nos anos de 1986-1988 e 1994-1995. Já nos anos 1988/1989 ocorreu La Niña de intensidade forte, 1984/1985, 1998/2001 de intensidade moderada e 1995/1996 de intensidade fraca.

Comparando com os dados obtidos por Lago (2000) para o município de Pelotas, enquanto este estudo encontrou 5992,3MJmmhá⁻¹h⁻¹ano⁻¹, o de Lago (2000) foi de 4918,9MJmmhá⁻¹h⁻¹ano⁻¹, assim o valor encontrado é 21,8% superior ao de Lago (2000). A diferença é explicada porque no presente trabalho foram interpretados todos os pluviogramas e, destes obtidos os valores de I30, enquanto que Lago (2000) utilizou apenas os pluviogramas que apresentavam intensidades máximas em duração de 30 minutos. O índice EI30_{PLUV} encontrado para Pelotas é semelhante ao de Rio Grande, onde segundo Bazzano, Eltz, Cassol (2010) o valor médio anual da erosividade da chuva, é de 5.135MJmmhá⁻¹h⁻¹.

Tabela 5 – Valores mensais, anuais e médios do índice de Erosividade EI30_{PLUV} (MJmmhá⁻¹h⁻¹ano⁻¹) de Pelotas-RS, no período de 1982-1998, com as respectivas medidas de dispersão calculados a partir de registros pluviográficos

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
1982	370,9	535,0	148,2	0,0	249,1	174,7	292,9	1164,4	707,4	323,3	97,1	149,8	4212,9
1983	208,2	5895,0	107,2	78,7	91,7	400,2	98,5	207,5	92,8	131,5	373,2	218,8	7903,5
1984	2284,0	1312,0	369,6	398,1	923,8	236,4	183,7	240,1	1862,6	408,0	231,0	11,5	8460,8
1985	155,4	30,0	573,6	78,4	192,9	264,4	278,6	409,4	173,0	68,5	63,8	254,2	2542,2
1986	594,7	522,5	1023,6	1136,1	1406,9	190,7	42,8	372,4	88,9	189,6	523,2	171,1	6262,6
1987	266,2	262,2	630,8	672,2	50,2	39,1	405,9	1785,5	495,0	151,2	167,7	139,5	5065,4
1988	580,1	1101,3	21,5	319,6	11,2	165,2	88,0	32,0	498,9	236,4	449,8	32,6	3536,6
1989	748,5	198,4	56,8	82,0	7,9	25,8	0,0	57,7	31,8	227,5	1275,9	255,4	2967,7
1990	816,7	1412,7	806,2	504,8	10,1	0,0	82,2	77,8	302,9	68,5	395,3	614,0	5091,2
1991	0,0	98,1	635,1	2394,8	460,7	303,5	197,6	52,2	660,3	583,1	458,5	438,2	6282,1
1992	121,5	2894,7	599,9	598,6	197,9	381,9	146,1	100,7	581,7	154,4	183,8	169,5	6130,7
1993	285,5	2058,9	0,0	910,7	373,9	101,4	94,2	79,2	0,0	187,5	532,9	773,0	5397,1
1994	2188,3	3259,5	212,2	35,7	532,1	547,6	334,0	77,1	155,3	708,0	58,0	263,0	8370,9
1995	120,8	1301,4	785,8	423,6	11,4	282,4	2393,5	282,6	372,3	64,2	188,4	259,8	6486,1
1996	860,0	1145,7	39,6	407,2	0,0	38,9	0,0	308,8	34,6	162,8	0,0	760,1	3757,8
1997	541,9	3353,4	400,3	0,0	172,3	236,2	471,9	393,3	750,4	404,7	1048,3	2857,1	10629,7
1998	628,5	5282,3	262,7	1134,6	146,3	191,2	318,8	435,9	131,9	0,0	58,1	181,4	8771,7
Média	633,6	1803,7	392,5	539,7	284,6	210,6	319,3	357,5	408,2	239,4	359,1	444,1	5992,3
DP	657,3	1775,7	319,7	606,3	378,5	148,0	552,7	456,5	453,4	191,2	351,0	661,6	2268,3
CV	103,7	98,4	81,5	112,3	133,0	70,3	173,1	127,7	111,1	79,9	97,7	149,0	37,9
Máx	2284,0	5895,0	1023,6	2394,8	1406,9	547,6	2393,5	1785,5	1862,6	708,0	1275,9	2857,1	10629,7
Mín	0,0	30,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	32,0	0,0	0,0	0,0	11,5	2542,2

*Unidades em MJ mm há⁻¹h⁻¹ano⁻¹

Entre 1982 e 1998, que foi o período estudado, a maior erosividade calculada foi em 1997 alcançando um valor de $10.629,7 \text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$, ano em que o fenômeno El Niño foi considerado de intensidade forte e a menor erosividade foi de $2.542,2 \text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ no ano de 1985, ano de La Niña de intensidade fraca. A maior erosividade mensal encontrada foi em fevereiro de 1983 alcançando um valor de $5.895 \text{MJmmhá}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ praticamente igual a média anual (tab. 5), apresentando coerência com ano de El Niño de forte intensidade e de chuva bem acima da normal climatológica. 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 (Waltrick, 2010).

Os meses de janeiro e fevereiro foram os que apresentaram as maiores erosividades médias mensais, apresentando respectivamente $633,6$ e $1.803,72 \text{MJmmhá}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$, logo 40,7% da erosividade anual ocorre em menos de 20% do ano. Fevereiro foi o mês de maior precipitação pluvial e janeiro obteve valor inferior apenas a julho que foi o segundo mês de maior precipitação pluvial. O mês de fevereiro foi o que apresentou o maior percentual de chuvas erosivas 89,5% (o mês de janeiro apresentou 81,3%), porém o que foi determinante para serem os meses de maior erosividade foi que estes dois meses foram os que apresentaram as maiores intensidades de chuva $19,9 \text{mm.h}^{-1}$ para janeiro e $26,3 \text{mm.h}^{-1}$. Para o município de Uruguaiana, Hickmann et al. 2008, o período que apresentou o maior índice de erosividade das chuvas foi o de outubro a abril, com 77,5% do total anual.

Os meses de maio, junho e julho apresentaram as menores erosividades médias mensais, respectivamente $284,61$, $210,56$ e $178,54 \text{MJmmhá}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ (tab. 5) e também os meses que apresentaram os menores valores de I30, maio ($9,59 \text{mm.h}^{-1}$), junho ($12,04 \text{mm.h}^{-1}$) e julho ($9,09 \text{mm.h}^{-1}$). Locais com potencial erosivo baixo no período de inverno também foram encontrados no Rio Grande do Sul, por Bazzano, Eltz, Cassol (2007) em Quaraí, por Cassol et al. (2008) em São Borja e por Mazurana et al. (2009), em Santa Rosa.

Os valores de intensidade pluvial podem ser considerados representantes de valores de energia potencial disponível para transformar-se em energia

cinética responsável pela erosividade da chuva, logo pode-se dizer que quanto maiores os valores de intensidade pluvial maior é a erosividade da chuva (CREPANI, MEDEIROS, PALMEIRA, 2004). O conhecimento dos períodos de maior erosividade permite o planejamento das épocas de preparo do solo para o plantio bem como de práticas conservacionistas que não permitam que o solo esteja descoberto neste período para que se evite a perda de solo.

O maior valor anual de erosividade foi de $10.629,7 \text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ com um período de retorno estimado em 18 anos enquanto a menor erosividade anual do período, de $2.542,2 \text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ tem um período de retorno estimado em 1,1 anos (tab. 6).

Tabela 6 – Período de Retorno e probabilidade de ocorrência dos valores dos índices anuais de erosividade ($EI_{30_{PLUV}}$), de Pelotas (RS) durante o período de 1982 a 1998.

Ano	EI30 anual	N de ordem	Período de retorno	Probabilidade de ocorrência
	MJ mm há ⁻¹ h ⁻¹ ano	m	T anos	Pr %
1997	10629.7	1	18.0	5.6
1998	8771.7	2	9.0	11.1
1984	8460.8	3	6.0	16.7
1994	8370.9	4	4.5	22.2
1983	7903.5	5	3.6	27.8
1995	6486.1	6	3.0	33.3
1991	6282.1	7	2.6	38.9
1986	6262.6	8	2.3	44.4
1992	6130.7	9	2.0	50.0
1993	5397.1	10	1.8	55.6
1990	5091.2	11	1.6	61.1
1987	5065.4	12	1.5	66.7
1982	4212.9	13	1.4	72.2
1996	3757.8	14	1.3	77.8
1988	3536.6	15	1.2	83.3
1989	2967.7	16	1.1	88.9
1985	2542.2	17	1.1	94.4

Observa-se que o valor médio da erosividade anual do período considerado, de $5992,3 \text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}$, tem um período de retorno estimado de 1,99 anos (2,0-1,8) com probabilidade de ocorrência entre 50,0 e 55,6 % (tab. 6).

Em Uruguaiana o valor médio de erosividade observado, de $8.875,3 \text{MJmmha}^{-1}\text{h}^{-1}$, tem um período de retorno estimado em torno de dois anos, com uma

probabilidade de ocorrência de 48%, ou seja, há 48% de probabilidade que a cada dois anos ocorram chuvas com este potencial erosivo (Hickmann et al, 2008).

4.4.2. Comparação dos valores de $EI30_{PLUV}$ com os valores de $EI30_{DESAG}$ e $EI30_{1440}$

Quando aplicado o teste de Anderson Darling, na comparação da estatística calculada pelo teste escolhido e o valor crítico, Z_{calc} foi menor do que Z_{crit} , então os dados seguem a distribuição normal e aceita-se H_0 (tab.7).

Na comparação de variâncias, através do teste F, não houve diferença significativa entre as variâncias mensais dos valores de $EI30_{DESAG}$ e $EI30_{DESAG1440}$ quando comparadas com $EI30_{PLUV}$, pois os valores calculados em ambos as comparações foram inferiores ao valor F crítico, nos levando a aceitar a Hipótese de Nulidade (tab.7)

Os resultados dos testes de Anderson Darling, t de Student, F e EPE para comparação dos métodos de obtenção da erosividade são apresentados na Tab. 7.

Tabela 7– Resultados dos testes F, Anderson Darling, t de Student e EPE utilizando as médias mensais de erosividade ($EI30_{PLUV}$) de Pelotas (RS) do período de 1982 a 1998, $EI30_{DESAG}$ e $EI30_{DESAG1440}$

EI30	Teste Anderson			
	Darling	Teste F	Teste t	EPE
$EI30_{DESAG}$ VS $EI30_{PLUV}$	-0,99	0,99	0,44	0,54
$EI30_{DESAG1440}$ VS $EI30_{PLUV}$	1,71	0,71	0,30	0,64

Teste Anderson Darling $z_{tab} = 1,96$; F tab (5%) = 2,82; t tab (5%) = 2,2.

Comparando as médias mensais do índice de erosividade $EI30_{PLUV}$ calculadas através de registros pluviográficos com os valores médios mensais calculados pelo método de desagregação de chuva diária $EI30_{DESAG}$ e $EI30_{DESAG1440}$, não se observou diferença entre as médias mensais da erosividade

estimada pelos três métodos quando foi utilizado o teste t a 5 % de probabilidade cujos valores calculados foram inferiores ao valor t crítico (tab. 7), confirmando a aceitação da hipótese de nulidade

Quanto ao EPE o método da desagregação da precipitação diária para 1440 min ($EI30_{DESAG1440}$) apresentou maior erro quando comparado ao método da desagregação utilizando as durações dos pluviogramas ($EI30_{DESAG}$), conforme apresentado na tab. 7. Este resultado era esperado porque quando é conhecida a lâmina e a duração da chuva é possível que a desagregação da chuva diária seja mais precisa.

Na tabela 8 apresentamos os resultados encontrados para o ajuste linear (Apêndice 4) realizado entre $EI30_{PLUV}$ com $EI30_{DESAG}$ e $EI30_{DESAG1440}$.

Tabela 8– Ajuste linear de $EI30_{PLUV}$ com $EI30_{DESAG}$ e $EI30_{DESAG1440}$

Equação	R	Teste t “b”
$EI30_{DESAG} = 0,96EI30_{PLUV} + 154,9$	0,96	0,03
$EI30_{DESAG1440} = 1,08EI30_{PLUV} + 155,2$	0,96	0,07

b: coeficiente angular do ajuste linear; t tab (5%) = 2,2

O comportamento apresentado quando o teste t foi realizado para as médias mensais de erosividade foi reafirmado pela análise do coeficiente angular “b” obtido pelos ajustes lineares entre $EI30_{DESAG}$ e $EI30_{DESAG1440}$ com o $EI30_{PLUV}$, visto que o valor t calculado para o coeficiente foi menor do que o t tabelado, havendo também a aceitação de H_0 (tab.8).

Os valores da erosividade obtidos por desagregação da precipitação diária para as durações da precipitação pluvial encontradas no pluviograma ($EI30_{DESAG}$) e para 1440min ($EI30_{DESAG1440}$) (Apêndices 2 e 3) variaram na escala mensal e anual, no período de 1982 a 1998, de forma semelhante aos valores da erosividade obtida por registros pluviográficos ($EI30_{PLUV}$)(tab.5).

Os valores médios mensais encontrados pelos métodos de desagregação da precipitação diária demonstram que no período de abril a outubro existe uma superestimação da erosividade, enquanto que nos meses novembro a março os valores são mais próximos a erosividade calculada pelos registros pluviográficos (Fig.8). Demonstrando que as melhores estimativas de erosividade acontecem nos períodos de maior intensidade pluvial.

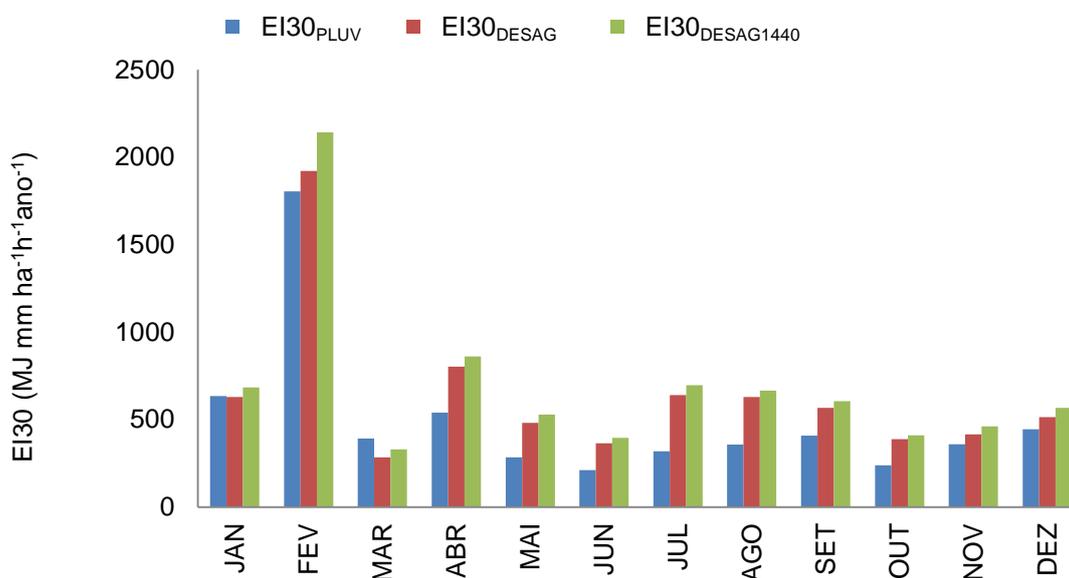


Figura 8 – Erosividade média mensal obtida de registros pluviográficos ($EI30_{PLUV}$), por desagregação de chuva diária na duração da chuva do pluviograma ($EI30_{DESAG}$) e na duração da chuva em 1440 min ($EI30_{1440}$) no período 1982-1998 para o município de Pelotas.

O valor de $EI30$ anual calculado pelos registros pluviográficos $EI30_{PLUV}$, (tab.5) considerado o padrão na obtenção desta variável, foi de $5992,3MJmmha^{-1}h^{-1}ano^{-1}$ enquanto que a partir da desagregação da precipitação pluvial diária obtiveram-se os valores de $7634,8$ e $8348,6MJmmha^{-1}h^{-1}ano^{-1}$, $EI30_{DESAG}$ e $EI30_{1440}$, respectivamente (Apêndices 2 e 3). Assim houve uma superestimação de 27,4 e 39,3% dos valores de $EI30_{DESAG}$ e $EI30_{1440}$ em relação aos valores de

El30_{PLUV}. Jebari et al. (2012) utilizaram um método de desagregação de precipitação pluvial diária para a obtenção da erosividade na Tunísia e obtiveram uma superestimação em torno de 60 % nos valores quando comparados aos dados obtidos por registros pluviográficos. Comparativamente ao resultado dos autores pode-se dizer que uma diferença de 20 a 40% é razoável visto que está se utilizando um modelo.

O primeiro passo no processo de desagregação das chuvas diárias é estabelecer a chuva de 24h e depois as chuvas com duração inferior a cada etapa, multiplicando-se pelos coeficientes. Desta forma, os erros na estimativa das chuvas se vão acumulando a cada coeficiente utilizado, de tal modo que o uso do coeficiente médio de Santa Catarina determina diferenças acima de até 40% nas estimativas de chuvas com duração inferior a 30min para as estações de Florianópolis, Itajaí e Laguna (Back, 2012). Genovez & Zuffo (2000) já mostraram que os coeficientes médios obtidos para o Brasil podem gerar erros nas estimativas acima de 30% quando comparados com as estimativas baseadas em dados de pluviógrafos dos locais e, por isto, tal metodologia deve ser aplicada em localidades em que não há disponibilidade de registros pluviográficos

Resultados encontrados no presente trabalho como no de Jebari et al. (2012) demonstram que embora a técnica de desagregação de chuva diária nos ofereça resultados aceitos através de métodos estatísticos, ainda é uma técnica nova e necessita de continuidade de pesquisa para o seu aprimoramento.

4.5. Erosividade (El30_{1440BLM}) dos municípios que se encontram no âmbito da BLM lado brasileiro

Tendo sido validado o método da desagregação da chuva diária utilizando os dados pluviográficos do município de Pelotas/RS, foi possível alcançar o objetivo de disponibilizar dados de erosividade para os municípios do lado brasileiro da BLM onde há disponibilidade de dados pluviométricos, bem como foi possível conhecer a distribuição espacial das erosividades.

Desagregando a chuva diária, na duração de 1440min, em intervalos de 30 minutos foi possível obter a I30 e a EC desta chuva possibilitando o cálculo dos

índices de erosividade para estes 20 municípios que se encontram integral ou parcialmente na BLM lado brasileiro ($EI30_{1440BLM}$).

As técnicas de geoprocessamento, ao permitir a visualização espacial da variável no espaço, permitem o conhecimento e o melhor entendimento da forma de distribuição da erosividade na área de estudo. Na Fig.9 observamos a distribuição espacial da erosividade na BLM, sendo que cada cor representa uma zona de erosividade.

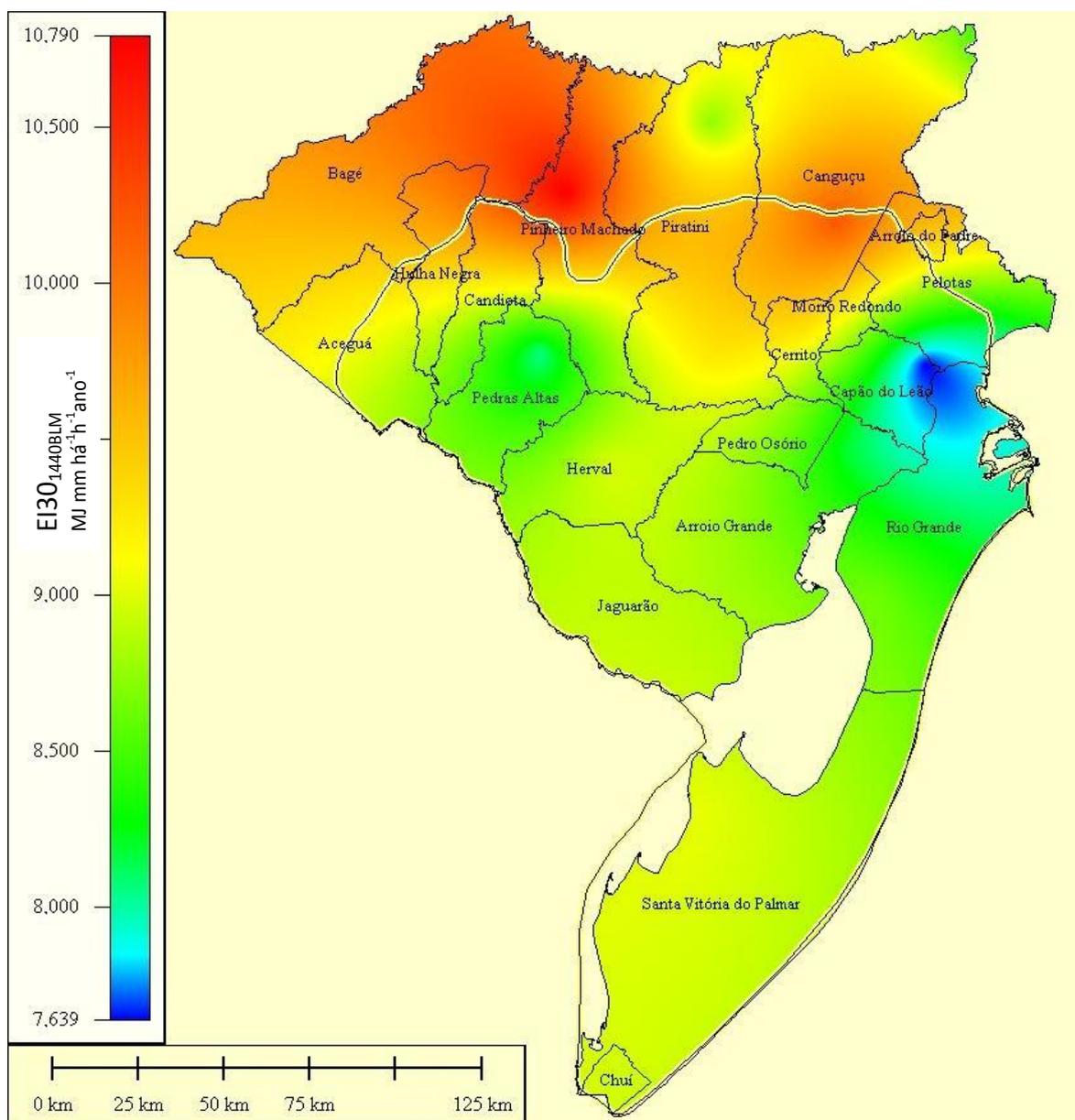


Figura 9 – Distribuição espacial dos índices anuais de $EI30_{1440BLM}$ na BLM.

Os maiores valores anuais de $EI_{30_{1440}BLM}$ foram encontrados nos municípios localizados a norte da BLM, como Pinheiro Machado ($9483MJmmhá^{-1}h^{-1}ano^{-1}$), Canguçu ($9288MJmmhá^{-1}h^{-1}ano^{-1}$) e Bagé ($9286MJmm há^{-1}h^{-1}ano^{-1}$) (Apêndice 5). Estes municípios se localizam em altitudes médias de 282,7m, 231,4m e 241,3m respectivamente estando todos localizados no Escudo Sul Rio-grandense (Apêndice 9).

Os menores valores de $EI_{30_{1440}BLM}$ foram registrados nos municípios de Capão do Leão ($8296MJmmhá^{-1}h^{-1}ano^{-1}$), Rio Grande ($8483MJmmhá^{-1}h^{-1}ano^{-1}$) e Pedras Altas ($8514MJmmhá^{-1}h^{-1}ano^{-1}$) cujos municípios se encontram localizados em altitudes de 35,2m, 6,4m e 191,9m respectivamente e se localizam na Planície Costeira excetuando Pedras Altas que se encontra na Depressão Central (Fig. 9).

As altitudes médias dos municípios localizados na BLM lado brasileiro variam de 6,36m no município de Rio Grande a 282,66m em Pinheiro Machado. Observando os valores de $EI_{30_{1440}BLM}$ nos municípios da bacia encontra-se a maior erosividade no município que apresenta a maior altitude, enquanto que a menor erosividade foi encontrada no município que apresenta uma das 4 menores altitudes. Estes resultados evidenciam a relação entre erosividade e altitude. Em trabalho realizado por Moreira et al. (2006) foi verificada a influência tanto da altitude como da continentalidade na erosividade com uma tendência de declínio da erosividade com a redução da altitude e o afastamento do litoral. No presente trabalho os resultados foram semelhantes, onde pode-se inferir que com a redução da altitude existe uma tendência de diminuição da erosividade, em contraponto está a relação ao afastamento do litoral pois houve uma diminuição da erosividade nos municípios mais próximos do litoral. Viola et al (2010) observou clara influência do relevo na estimativa dos índices pluviométricos, a altitude mostrou-se relevante como variável secundária no processo de interpolação espacial, indicando que esta deve ser incorporada à análise para obtenção de mapeamentos com maior precisão e mais próximos da realidade da precipitação pluvial. No presente estudo buscou-se por similaridade analisar a influência da altitude no comportamento da erosividade.

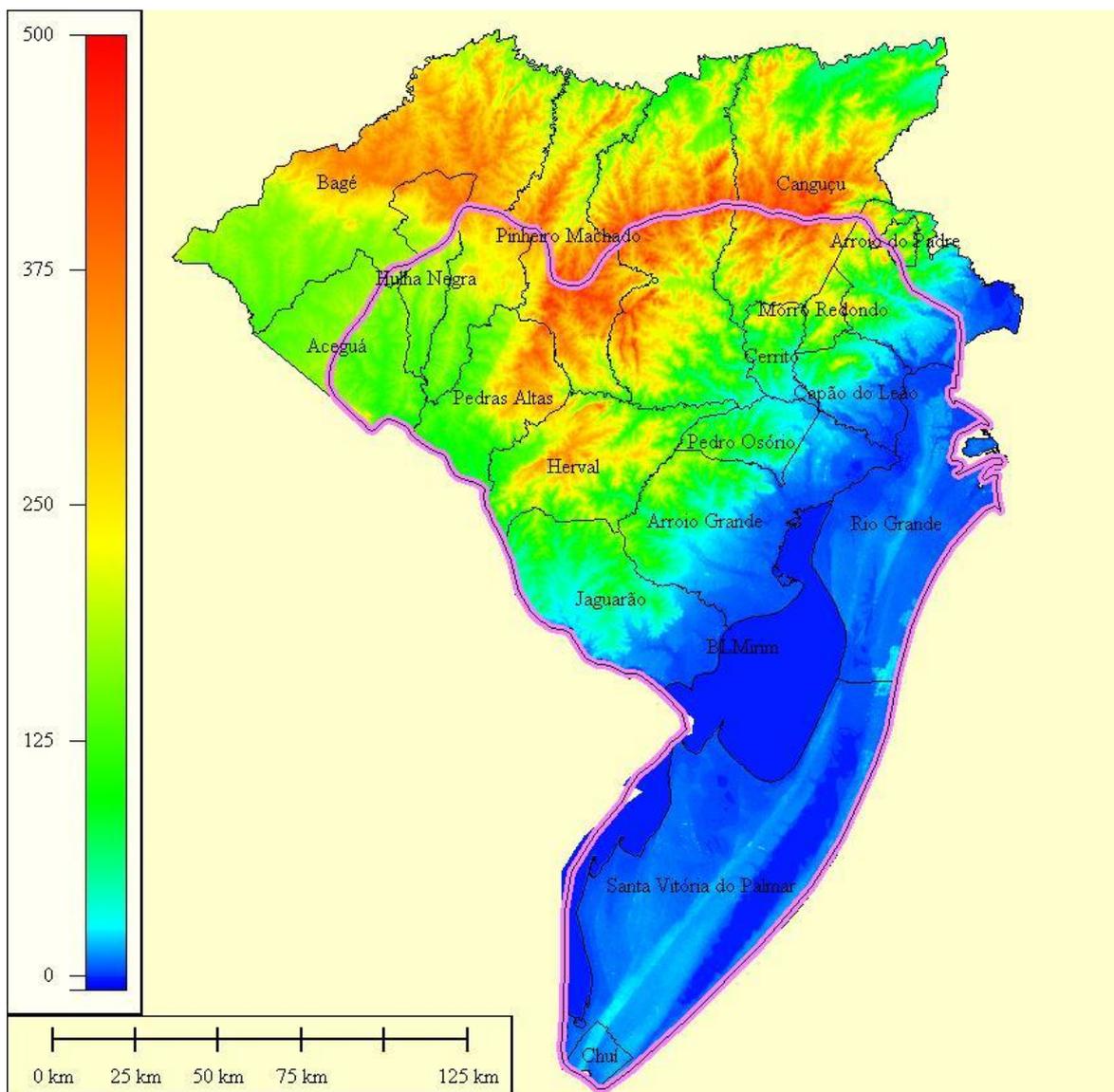


Figura 10 – Mapa de altitudes da BLM lado brasileiro.

Dos municípios da BLM que foram encontrados valores de Erosividade mediante registros pluviográficos, Lago (2000) encontrou valores de EI_{30} para o município de Jaguarão de $5411,2 \text{ MJmmh}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, para Bagé de $7051,4 \text{ MJmmh}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e para Santa Vitória do Palmar de $4369,9 \text{ MJmmh}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, enquanto este estudo encontrou respectivamente $8868 \text{ MJmmh}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, $9286 \text{ MJmmh}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e $8894 \text{ MJmmh}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, tendo uma superestimativa de 63,9, 31,7 e 103,5% através da técnica da desagregação da chuva diária. Já para Rio Grande, Bazzano, Eltz, Cassol (2010) estimaram um valor médio anual da erosividade da chuva de $5.135 \text{ MJmmh}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e Lago (2000), $2546,5 \text{ MJmmh}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ enquanto este estudo encontrou uma Erosividade de $8483 \text{ MJmmh}^{-1} \text{ h}^{-1}$

1ano^{-1} superestimando a erosividade em 65,1 e 233,12% respectivamente. Para o município de Pelotas o índice de erosividade calculado através de dados desagregados foi de $8659\text{MJmm há}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ apresentando uma superestimativa, em relação aos calculados por registros pluviográficos, de 44,5% se comparado com $5.992,3\text{MJmmhá}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ valor encontrado neste estudo, e 76% se comparado a $4918,9\text{MJmmhá}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$ encontrado por Lago (2000).

Observa-se na Figura 11 a variação temporal e espacial da erosividade na BLM. Em média os valores mensais de erosividade ao longo do ano estão em torno de $750\text{MJmmhá}^{-1}\text{h}^{-1}\text{ano}^{-1}$. Os maiores valores médios mensais de $\text{EI}_{30_{1440\text{BLM}}}$ foram encontrados nos meses de fevereiro e abril para os municípios localizados a leste da bacia e nos municípios a noroeste da bacia o pico de erosividade ocorreu em abril.

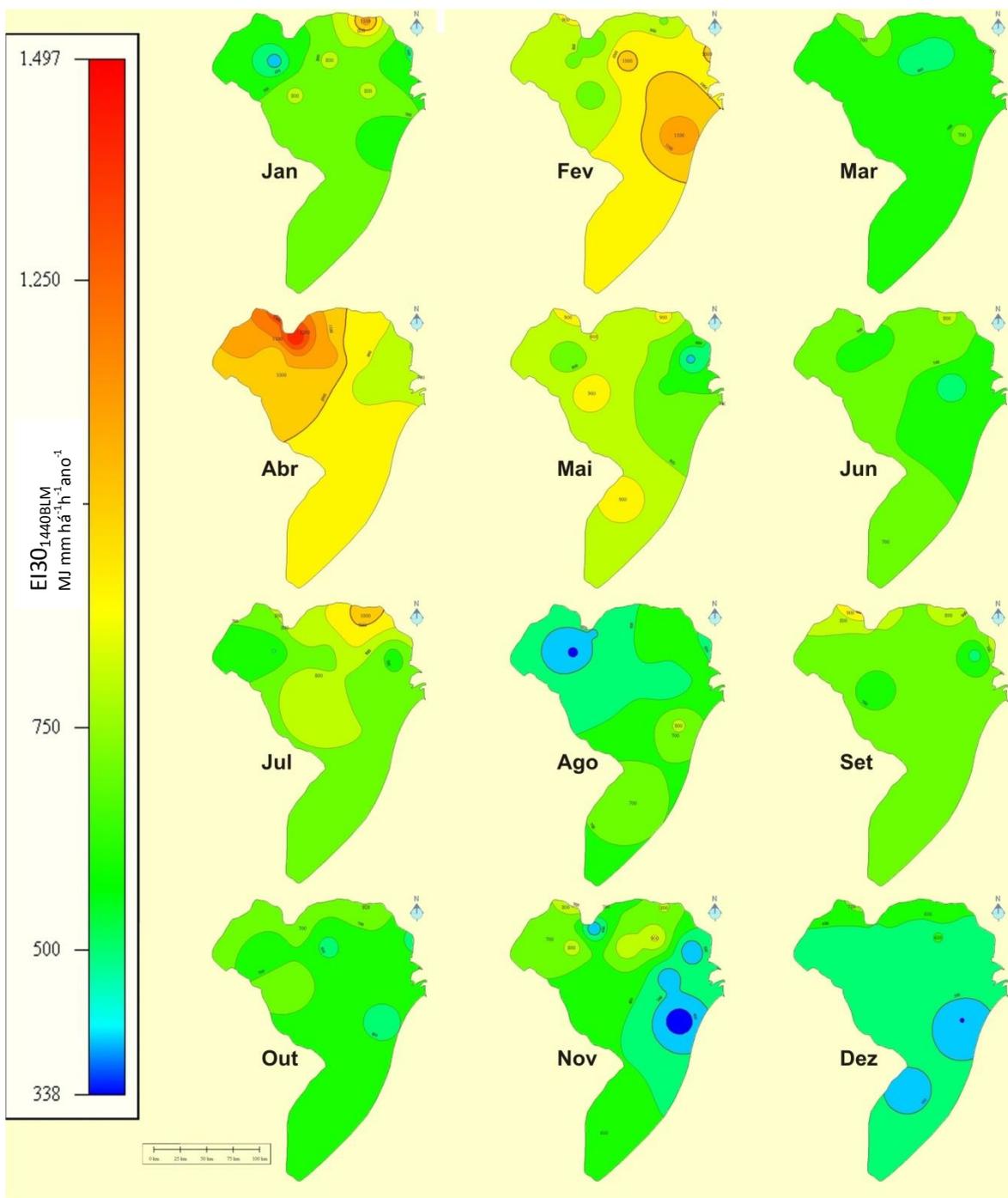


Figura 11 – Distribuição espacial e temporal de $E130_{1440BLM}$ no lado brasileiro da BLM

Com base na distribuição mensal dos valores médios de erosividade ocorridos nos municípios da BLM, detectou-se a ocorrência de dois padrões principais, conforme observado na Fig. 12.

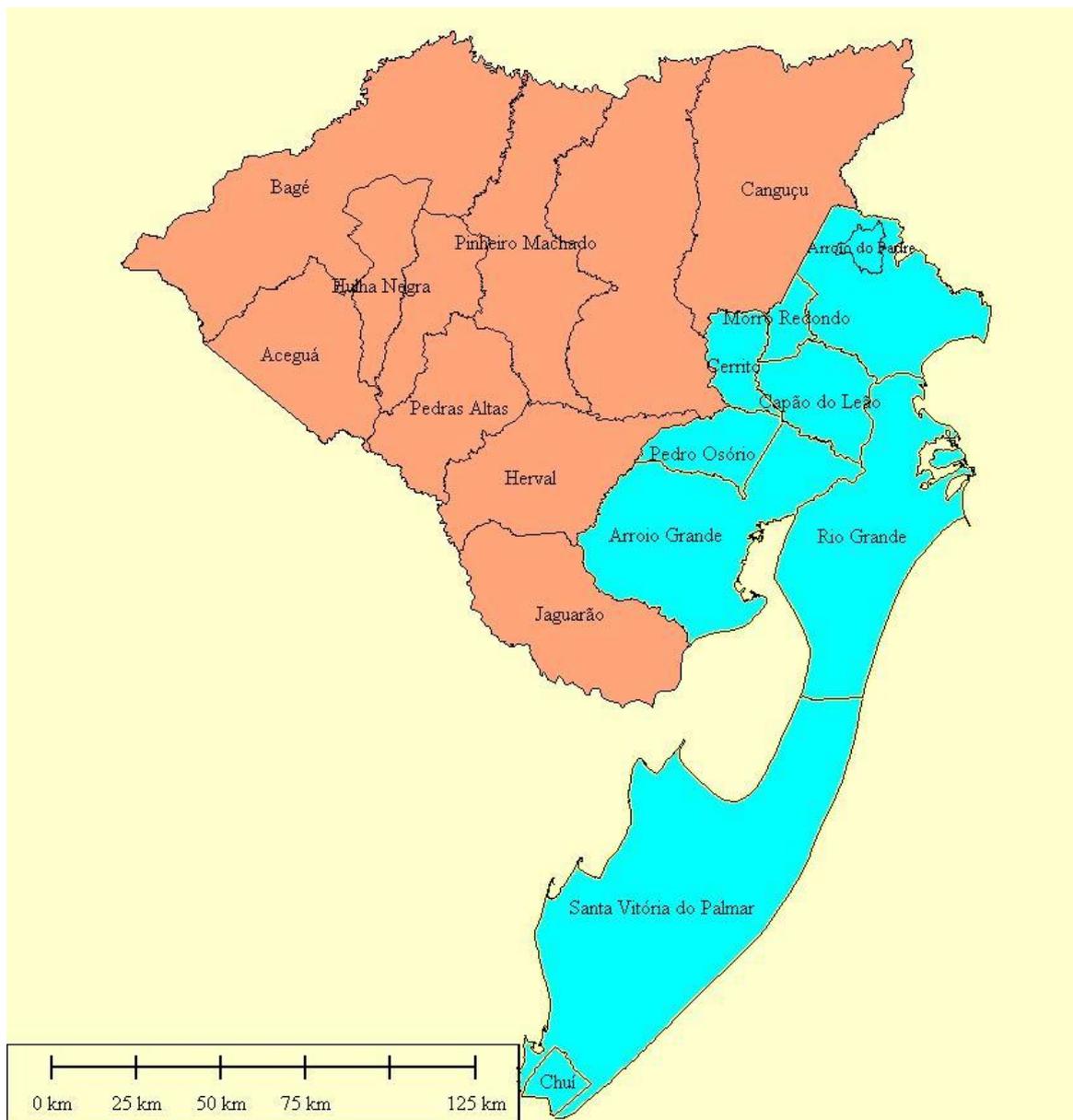


Figura 12 – Distribuição espacial dos dois padrões de pico de erosividade mensal encontrados nos municípios localizados na BLM.

Arroio do Padre, Arroio Grande, Capão do Leão, Cerrito, Chuí, Morro Redondo, Pedro Osório, Pelotas, Rio Grande e Santa Vitória do Palmar são os municípios em que os picos de erosividade ocorreram nos meses de fevereiro e abril (Fig. 12). Confirmando os dados de erosividade obtidos para Pelotas através de registros pluviográficos onde no mês fevereiro ocorreu a máxima erosividade mensal. Este comportamento pode estar associado às chuvas convectivas caracterizadas por precipitações com curta duração e alta intensidade associadas a ocorrência de El Niño.

O outro padrão de erosividade encontrado na BLM refere-se aos municípios Pedras Altas, Pinheiro Machado, Herval, Candiota, Canguçu, Aceguá, Bagé, Hulha Negra, Piratini e Jaguarão onde o pico de erosividade ocorre no mês de abril (Fig.12). Este é um dado importante, pois na maioria dos municípios que se encontram dentro deste padrão a pecuária é uma atividade econômica importante, e o mês de abril é justamente a época de preparo do solo para implantação das pastagens de inverno, logo um dos períodos em que o solo está mais suscetível a erosão.

Na relação linear entre os dois padrões de pico mensal de erosividade e as altitudes dos municípios, foi possível perceber o mesmo movimento entre ambos, quando aumenta a altitude, aumenta a erosividade (Fig 13 e 14).

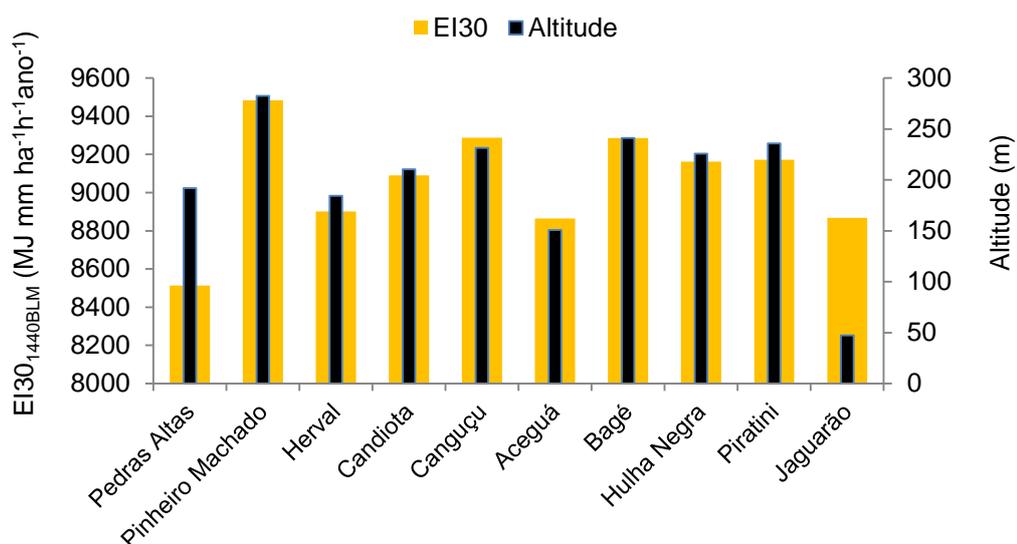


Figura 13 - Relação EI30_{1440BLM} anual com a altitude média dos municípios localizados na BLM lado brasileiro e que apresentam picos de erosividade no mês de abril.

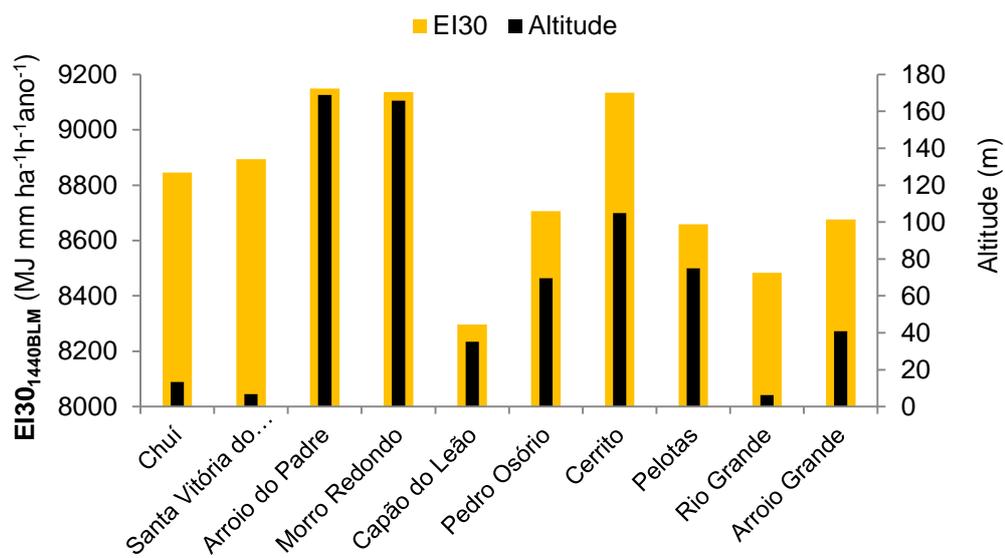


Figura 14 - Relação EI30_{1440BLM} anual com a altitude média dos municípios localizados na BLM lado brasileiro e que apresentam picos de erosividade no mês de abril e fevereiro

5 CONCLUSÕES

A metodologia da desagregação da chuva diária, aplicada neste trabalho, pode ser utilizada para a determinação da erosividade.

A disponibilização de dados de erosividade representou um ganho de informação sobre os 20 municípios do lado brasileiro da bacia hidrográfica da lagoa Mirim.

Esta bacia hidrográfica apresenta duas regiões homogêneas de erosividade. Os maiores valores médios mensais observados na porção leste da bacia foram encontrados nos meses de abril e fevereiro; na porção nordeste o pico se deu em abril.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALM-AGÊNCIA DA LAGOA MIRIM / UFPEL. Disponível em < <http://alm.ufpel.edu.br>> Acesso em: 10 de fev 2013.

AMORIM, R. S. S.; SILVA, D. D.; PRUSKI, F. F.; MATOS, A. T. Avaliação do desempenho dos modelos de predição da erosão hídrica USLE, RUSLEPP para diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. **Revista Engenharia Agrícola**, v.30, n.6, p.1046-1049, 2010.

ANA- Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: Informe 2012**. Ed. Especial. Brasília: ANA, 2012. 250p.

ATLAS SÓCIO ECONÔMICO DO RIO GRANDE DO SUL/ SEPLAG. Secretaria de Planejamento, Gestão e Participação Cidadã. Disponível em: http://www.scp.rs.gov.br/atlas/conteudo.asp?cod_menu_filho=791&cod_menu=790&tipo_menu=APRESENTACAO&cod_conteudo=1330 Acesso em 5 de junho de 2013.

BACK, A. J. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações ocorridas no município de Urussanga, SC. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.2, p.170–175, 2009.

BACK, A. J.; OLIVEIRA, J. L. R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.4, p.391–398, 2012.

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 da Ciência do Solo**, v.31, p.1205-1217, 2007.

BAZZANO, M. G. P.; Eltz, F. L. F.; Cassol, E. A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.34, p.235-244, 2010.

BELL, F. G. Generalized rainfall-duration-frequency relationships. **Journal of Hydraulics Division**,v.95, p311-327, 1969.

BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul e os impactos da estiagem na produção agrícola. In: Bergamaschi, H. (coord.) **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRGS, 1992. p.11-23.

BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D. VISENTIN, D. & COGO, N.P. Erosividade das chuvas e sua distribuição entre 1989 e 1998 no município de Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.455-464, 2002.

BERTOL, O. J. RIZZI, N. E.; BERTO, I; ROLOFF, G. Perdas de solo e água e qualidade do escoamento superficial associadas à erosão entre sulcos em área cultivada sob semeadura direta e submetida às adubações mineral e orgânica. **Revista Brasileira da Ciência do Solo**, v.31, p.781-792, 2007.

BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. Precipitação. In: TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 3 ed. Porto Alegre: UFRGS / ABRH, 2002.

BRANDÃO, A. M. de P. M.; LUCENA, A. J. Tendência do clima no Centro-Sul das normais climatológicas. In: Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 5., 2002, Curitiba. **Anais do...** Curitiba:UFPR, 2002.

BRASIL, A.P.; CARVALHO, C. V.A. Uma Ferramenta Computacional para geração de Modelos Digitais de Terrenos com visualização em VRML. **Revista Eletrônica TECEN**, Vassouras, v. 3, n. 2, p. 85-96, 2010.

BRITTO, F.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Regionalização Sazonal e Mensal da Precipitação Pluvial Máxima no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 2, n.2, p. 35 – 51, 2006.

BRITTO, P. F.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no Rio Grande do Sul: influência do fenômeno El Niño Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 4, p. 37-48, 2008.

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, FS; PEZZOPANE, JEM; CECÍLIO, RA; PEZZOPANE, JRM; XAVIER, AC. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.871-880, 2010.

CECILIO, R. A.; PRUSKI, F. F. Interpolação dos parâmetros de equações de chuvas intensas com uso do inverso de potências da distância. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, n.3, p.501-504, 2003.

CECÍLIO, R.A.; RODRIGUEZ, R.G.; BAENA, L.G.N.; OLIVEIRA, F.G.; PRUSKI, F.F. Aplicação dos modelos RUSLE e WEPP para a estimativa da erosão hídrica em microbacia hidrográfica de Viçosa (MG). **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**,v.4, n.2, p.39-45, 2009.

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Drenagem urbana – Manual de projeto**. 3.ed. São Paulo: CETESB, 1986. 464p.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. Disponível em : <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em 10/08/2013.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; PALMEIRA, A. F. **Intensidade pluviométrica: uma maneira de tratar dados pluviométricos para análise da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo**. INPE-11237-RPQ/760. São José dos Campos: Inpe. 2004.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S. Comparação de diferentes metodologias para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência para Pelotas-RS. **Revista Engenharia Agrícola**, v.28, p.245-255, 2008.

DAMÉ, R. C. F.; TEIXEIRA, C. F. A.; TERRA, V. S. S.; ROSSKOFF, J. L. C. Hidrograma de projeto em função da metodologia utilizada na obtenção da precipitação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 1, p. 46–54, 2010.

DAMÉ, R.C.F. **Desagregação de precipitação diária para estimativa de curvas intensidade-duração-frequência**. 2001. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

DAMÉ, R.C.F.; PEDROTTI, C.B.M.; CARDOSO, M.A.G.; SILVEIRA, C.P.; DUARTE, L.A.; ÁVILA, M.S.V.; MOREIRA, A.C. Comparação entre curvas intensidade-duração-frequência de ocorrência de precipitação obtidas a partir de dados pluviográficos com àquelas estimadas por técnicas de desagregação de chuva diária. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 12, n. 4, p.505-509, 2006.

DE MARIA, I.C. Geotecnologias e modelos aplicados no manejo e conservação do solo e da água. In: **Manejo e Conservação do Solo e da Água no contexto das Mudanças Ambientais**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

DE PAULA, G.M.; STRECK, N. A.; ZANON, A.J.; ELTZ, F.L.F., HELDWEIN, A. B., FERRAZ, S.E.T. Influência do fenômeno El Niño na Erosividade das Chuvas na região de Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.34, n.4, p. 1315-1323, 2010.

ELTZ, F. L. F.; MEHL, H. U.; REICHERT, J. M. Perdas de solo e água em entressulcos em um argissolo vermelho-amarelo submetido a quatro padrões de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.485-493, 2001.

EMATER/RS - ASCAR. Informativo Conjuntural Nº 1256. Disponível em [:http://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/conjuntural/conj_29082013.pdf](http://www.emater.tche.br/site/arquivos_pdf/conjuntural/conj_29082013.pdf)
Acesso em 29.08.2013.

EVANGELISTA, A.W.P.; CARVALHO, L.G.; BERNARDINO, D.T. Caracterização do padrão das chuvas ocorrentes em Lavras, MG. **Irriga**, v. 10, n. 4, p. 306-317, 2005.

FARIAS, J. A. M.; RÊGO E SILVA; J. F., COELHO, L. S. Estimativa pluviográfica no estado do Ceará utilizando ordenamento de amostras em ambiente SIG, através de Métodos Geoestatísticos. In: XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011, Maceió. **Anais do...** Maceió: ABRH, 2011.

GENOVEZ, A. M.; ZUFFO, A. C. Chuvas intensas no Estado de São Paulo: Estudos existentes e análise comparativa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.3, p.45-58, 2000.

GONÇALVES, 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, n.2, p.269–276, 2006.

GONÇALVES, L.S. **Relações IDF com base em estimativas de precipitação por satélite**. 2011. Tese de mestrado UFRGS/IPH. PPG Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental.

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(1). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 32, p. 825-831, 2008.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: < <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>> Acesso em: 5 fev 2013.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em:< <http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/geotiff>>. Acesso em 5 fev 2013.

IPH, 1998. Estudo para Avaliação e Gerenciamento da Disponibilidade Hídrica da Bacia da Lagoa Mirim. Relatório de Convênio. Volumes 1, 2 e 3. Porto Alegre, IPH- UFRGS, 3 volumes.

JEBARI , S.; BERNDTSSON , R.; OLSSON ; J. BAHRI, A. Soil erosion estimation based on rainfall disaggregation. **Journal of Hydrology** , v. 436–437, p. 102–110, 2012.

LAGO, J. C. **Erosividade das chuvas na metade sul do Rio Grande do Sul**. Pelotas, Universidade Federal de Pelotas, 2000. 123p. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas.

LANDIM, P. **Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas**. Departamento de Geologia Aplicada. Unesp/Rio Claro. Lab. Geomatemática. 2000. 20 p.

MACHADO, P. L. O. A.; MADARI, B. E.; BALBINO, L. C. Manejo e conservação do solo e água no contexto das mudanças ambientais – Panorama Brasil. In: **Manejo e Conservação do Solo e da Água no contexto das Mudanças Ambientais**. Rio de Janeiro:Embrapa Solos, 2010.

MACHADO, R.L.; CARVALHO, D.F.; ROUWS, J.R.C.; GOMES, D.P.; EDUARDO, E.N. Erosividade das chuvas associada a períodos de retorno e probabilidade de ocorrência no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.37, p. 529-547, 2013.

MATEUS, A. (2008) Solo: a pele da Terra. Departamento de Geologia da FCUL, Lisboa, 45 pp. Disponível em:< <http://geologia.fc.ul.pt/documents/163.pdf>> Acesso em 09 jun 2013.

MAZURANA, J.; CASSOL, E. A.; SANTOS, L. C.; ELTZ, 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, (Suplemento), p.975–983, 2009.

MEHL, H. U. F.; ELTZ, L. F.; REICHERT, J. M.; DIDONÉ, I. A. Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p. 475-483, 2001.

MEHL, H.U. **Caracterização de padrões de chuvas ocorrentes em Santa Maria (RS) e sua relação com as perdas de solo e água em entressulcos**. 2000. 53p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

MELLO, C.R.; SÁ, M. A. C.; CURTI, N.; MELLO, J.M.; Marcelo Ribeiro VIOLA, M.R.; SILVA, A.M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.4, p.537-545, abr. 2007.

MERRITT, W.S.; LETCHER, R.A.; JAKEMAN, A.J. A review of erosion and sediment transport models. **Environmental Modelling & Software**, v. 18, n. 8-9, p. 761-799. 2003.

MEUSBURGER, K.; STEEL, A.; PANAGOS, P.; MONTANARELLA, L.; ALEWELL, C. Spatial and temporal variability of rainfall erosivity factor for Switzerland. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.16, p.167–177, 2012.

MINELLA, J. P. G.; MERTEN, G. H.; REICHERT, J. M.; CASSOL, E. A. Processos e modelagem da erosão da parcela á bacia hidrográfica. In: **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças climáticas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

MONTEBELLER, C. A.; CEDDIA, M. B.; CARVALHO, D. F.; VIEIRA, S. R.; FRANCO, E. M. Variabilidade espacial do potencial erosivo das chuvas no Estado do Rio de Janeiro. **Revista Engenharia Agrícola**, v.27, p. 426-435, 2007.

MOREIRA, M.C.; CECÍLIO, R.A.; PINTO, F.A.C.; PRUSKI, F.F. Desenvolvimento e análise de uma rede neural artificial para estimativa da erosividade da chuva para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.30, n.6, p. 1069-1076, 2006.

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.

OCCHIPINTI, A.G. & SANTOS, P.M. Relações entre as precipitações máximas de “um dia” e de “24 horas” na cidade de São Paulo. São Paulo, Instituto Astronômico e Geofísico, USP. 1966. 26p.

ROBAINA, A.D. Modelo para geração de chuvas intensas no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 4, n.2, p.95-8, 1996.

SANTOS, D.G.; DOMINGUES, A.F.; GISLER, C.V. T. Gestão de Recursos Hídricos na agricultura: O Programa Produtor de Água. In: **Manejo e conservação do solo e da água no contexto das mudanças climáticas**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2010.

SCHWAB, G. O.; FREVERT, R. K.; EDMINSTER, T. W.; BARNES, K. K. Soil and water conservation engineering. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 1981. 525p

SEMA/Secretaria do Meio Ambiente/Governo do Estado do Rio Grande do Sul Programa Pró-Mar de Dentro Convênio SEMA/Pró-Mar de Dentro nº 03/2002 (complementar ao Convênio nº 06/2000) Relatório Técnico Final do Estudo preliminar de caracterização e diagnóstico da rede hidrológica da Bacia da Lagoa Mirim e inventário de dados existentes. Execução: Universidade Federal de Pelotas/ Agência de Desenvolvimento da Lagoa Mirim/ Faculdade de Engenharia Agrícola. Março de 2005

SEMA/Secretaria do Meio Ambiente/Governo do Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em:<<http://www.sema.rs.gov.br/>>. Acesso em 05 jul de 2013.

SILVA, A. B.; RESENDE, M.; SOUSA, A. R.; MARGOLIS, E. Mobilização do solo, erosão e produtividade de milho e feijão em um regossolo no Agreste Pernambucano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.2, p.299-307, fev. 1999.

SILVA, A.M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, p. 251-259, 2004.

SILVA, C. R.; QUINTAS, M. C. L.; CENTENO, J. A. S.; Estudo do método de interpolação do inverso da distância a uma potência. In: II Simpósio Brasileiro de Geomática V Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, 2007, Presidente Prudente. **Anais do...** Presidente Prudente, 2007.

SILVA, C.R.; CHAVES, H.M.L.; CAMELO, A.P. Calibração e validação da equação universal de perda de solos modificada (MUSLE) utilizando dados hidrossedimentológicos locais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 35, p. 1431-1439, 2011.

SILVEIRA, A. L. L. Equação para os coeficientes de desagregação de chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.5, n.4, p.143-147, 2000.

SOUZA, R.O.R.M.; SCARAMUSSA, P.H.M.; AMARAL, M.A.C.M; PEREIRA NETO, J.A.; PANTOJA, A.V. & SADECK, L.W.R. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.16, n.9, p.999–1005, 2012.

TEIXEIRA, C. F. A.; DAMÉ, R. C. F.; ROSSKOFF, J. L. C. Intensity-duration-frequency ratios obtained from annual records and partial duration records in the locality of Pelotas - RS, Brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 31, p. 687-694, 2011.

TERACINES, E. B. Impactos econômicos do El Niño 97/98 na produção agrícola brasileira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA.

CLIMA E AMBIENTE (SUSTENTABILIDADE, RISCOS, IMPACTOS) 4, 2000, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro.

TORRICO, J. J. T. **Práticas hidrológicas**. Rio de Janeiro: Transcon, 1975. 119p.
VIEIRA D. B.; LOMBARDI NETO, F.; SANTOS, R. P. Análise das intensidades máximas de chuva em Pindorama (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.18, p.255-260, 1994.

VIEIRA D. B.; LOMBARDI NETO, F.; SANTOS, R. P. Relação entre intensidade, duração e frequência de chuvas em Mococa, SP. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.33, p.1215-1220, 1998.

VILLANUEVA, Adolfo O. N. et al. 1998. Balanço oferta-demanda para derenciamiento do sistema Mirim-Mangueira. In: CONGRESSO NACIONAL DEL ÁGUA, 17, 1998, Santa Fé. **Anais...** Santa Fé: Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas de la Universidad Nacional Del Litoral. v.5, p. 477-487.

VIOLA, M.R.; MELLO, C.R.; PINTO, D.B.F.; MELLO, J.M. & ÁVILA, L.F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v.14, n.9, p.970–978, 2010.

WALTRICK, P.C. **Erosividade de Chuvas no Paraná: Atualização, Influência do “El Niño” e “La Niña”, e estimativa para cenários climáticos futuros**. 2010. 107f. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná.

WISCHMEIER, W. H. & SMITH, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions of the American Geophysical Union**, v.39, p.285-291, 1958.

WISCHMEIER, W.H. & SMITH, D.D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. Washington, USDA-Agricultural Research, 1978. 58p. (Agricultural Handbook, 537.)

WISCHMEIER, W.H. A rainfall erosion index for a universal soil-loss equation. **Soil Science Society of America Proceedings**, v.23, p.246-249, 1959.

YAMAZAKI, Y.; CARVALHO, M. H.; ORGAZ, M. L. D. M. Análise de um caso de chuvas intensas em Pelotas–RS usando o modelo MM5. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, XIII, 2004, Fortaleza. **Anais**. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 2004.

APÊNDICE

Apêndice 1 – Intensidade pluviométrica (I30) mensal para o município de Pelotas no período de 1982-1998 calculada através de registros pluviográficos.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média anual
1982	26,0	18,3	21,9	0,0	12,7	11,6	13,3	17,2	12,2	14,7	6,7	15,8	14,2
1983	11,6	33,8	16,0	12,9	6,3	12,4	5,6	10,8	11,6	8,5	11,8	16,6	13,2
1984	33,3	24,0	21,9	11,2	17,7	7,1	10,3	15,6	27,0	19,5	18,0	5,4	17,6
1985	19,6	7,5	17,9	8,9	9,3	11,5	9,2	13,3	9,3	12,0	11,3	26,4	13,0
1986	17,9	17,1	22,9	22,3	16,7	9,7	9,5	13,3	10,4	9,2	11,3	11,5	14,3
1987	15,5	18,5	16,4	17,4	6,4	16,1	10,4	20,0	17,2	10,3	13,8	9,6	14,3
1988	22,4	28,2	7,8	31,7	2,7	13,6	7,5	5,7	13,0	22,3	31,4	14,7	16,7
1989	22,1	38,2	10,9	8,1	3,4	8,8	0,0	15,4	7,8	14,5	35,1	24,6	15,7
1990	34,5	17,5	20,2	26,1	3,9	0,0	10,2	13,6	11,5	8,9	17,9	17,2	15,1
1991	0,0	15,5	27,8	31,7	16,5	13,3	8,8	12,2	38,0	14,0	12,8	26,5	18,1
1992	13,2	25,8	19,3	13,4	13,4	15,7	7,9	14,0	18,6	12,3	17,0	11,4	15,2
1993	11,1	37,8	0,0	49,8	8,4	8,3	4,8	9,8	0,0	8,3	13,6	21,8	14,5
1994	32,1	34,6	21,8	8,0	21,1	37,0	10,4	7,3	15,7	12,3	13,8	16,2	19,2
1995	17,4	21,9	24,4	18,9	6,5	11,3	21,7	13,4	12,3	13,9	16,1	14,6	16,0
1996	19,7	29,4	16,1	19,5	0,0	4,1	0,0	14,3	7,8	7,6	0,0	26,2	12,0
1997	26,0	30,7	28,6	0,0	10,1	15,0	15,0	11,6	28,9	13,7	28,6	30,7	19,9
1998	16,0	48,1	14,5	13,2	8,0	9,1	10,1	9,0	7,5	0,0	7,0	9,7	12,7
Média	19,9	26,3	18,1	17,2	9,6	12,0	9,1	12,7	14,6	11,9	15,6	17,6	15,4
DP	8,9	10,3	7,2	12,5	5,9	7,7	5,1	3,6	9,2	5,0	8,9	7,3	2,3
CV	44,5	39,1	39,6	72,7	62,0	63,6	56,4	27,9	63,1	41,9	57,1	41,3	14,8
Máx	34,5	48,1	28,6	49,8	21,1	37,0	21,7	20,0	38,0	22,3	35,1	30,7	19,9
Mín	0,0	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,7	0,0	0,0	0,0	5,4	12,0

Apêndice 2– Erosividades (EI30_{DESAG}) mensais, anuais e médias calculadas mediante o uso da desagregação de chuva diária utilizando as durações das chuvas dos pluviogramas analisados para o município de Pelotas (1982-1998)

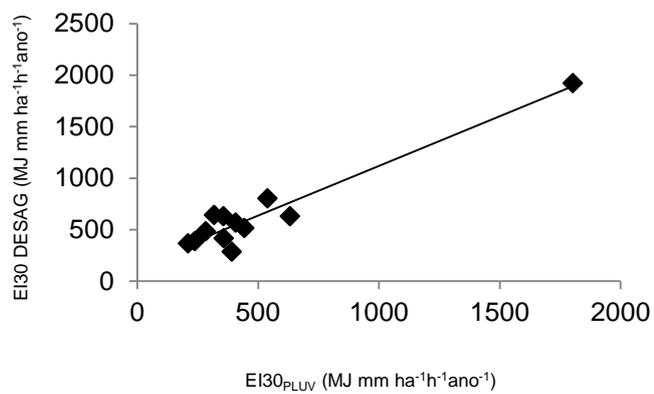
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	EI30 _{DESAG}
1982	99,4	392,0	55,4	0,0	509,0	78,8	380,9	1952,7	989,8	435,5	248,1	52,5	5194,2
1983	281,7	12352,9	201,4	139,5	211,1	1102,6	381,7	291,7	294,9	128,3	499,9	122,6	16008,4
1984	1338,5	380,4	133,3	848,7	1530,2	608,4	165,9	221,9	2970,7	242,4	143,2	18,3	8602,0
1985	95,2	21,2	338,2	116,1	269,4	561,7	749,0	895,9	321,7	61,8	48,0	98,1	3576,3
1986	1201,1	1059,9	804,3	1531,9	3022,0	279,2	40,6	468,4	354,4	370,6	1297,9	220,3	10650,5
1987	122,9	99,6	585,9	1007,5	75,6	18,6	1378,7	2676,2	405,9	282,7	133,2	280,9	7067,7
1988	276,5	574,4	25,6	268,8	65,4	223,9	240,9	35,2	523,0	158,2	232,7	15,2	2639,7
1989	1048,9	25,5	27,0	188,2	34,4	51,0	0,0	42,2	81,3	144,7	531,1	362,3	2536,7
1990	232,1	2565,5	610,9	448,8	40,8	0,0	125,5	22,8	511,1	115,8	524,2	1099,5	6296,9
1991	0,0	25,4	331,3	2219,8	381,5	374,2	645,8	22,5	997,1	1447,8	924,4	156,8	7526,6
1992	116,8	2837,7	459,4	1752,3	148,7	308,8	346,0	200,0	498,7	139,9	159,6	868,2	7836,1
1993	1004,7	1182,1	0,0	274,4	722,8	169,6	381,7	118,5	0,0	635,4	1097,4	571,0	6157,6
1994	3349,6	2626,1	220,9	27,2	217,3	859,4	672,7	213,1	100,5	1284,0	47,0	107,5	9725,3
1995	44,9	894,6	481,1	227,6	8,3	482,9	3691,0	248,5	678,8	75,4	140,8	425,6	7399,6
1996	373,7	1381,5	11,9	359,3	0,0	150,7	0,0	464,8	45,9	340,7	0,0	519,4	3647,9
1997	584,8	2518,7	180,1	0,0	594,7	242,5	1115,8	550,9	591,5	726,8	862,2	3145,9	11113,8
1998	511,0	3726,0	369,1	4234,2	347,8	681,3	563,0	2277,0	266,4	0,0	172,9	663,5	13812,2
Média	628,3	1921,4	284,5	802,6	481,1	364,3	639,9	629,5	566,6	387,7	415,4	513,4	7634,8
DP	823,6	2931,1	241,7	1108,4	755,8	312,6	873,7	839,0	685,0	419,0	402,6	746,6	3778,6
CV	131,1	152,6	85,0	138,1	157,1	85,8	136,5	133,3	120,9	108,1	96,9	145,4	49,5
Máx	3349,6	12352,9	804,3	4234,2	3022,0	1102,6	3691,0	2676,2	2970,7	1447,8	1297,9	3145,9	16008,4
Mín	0,0	21,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	22,5	0,0	0,0	0,0	15,2	2536,7

Apêndice 3 – Erosividades (EI30₁₄₄₀) mensais, anuais e médias obtidas através da desagregação da chuva diária utilizando durações de 1440 min. para o município de Pelotas (1982-1998)

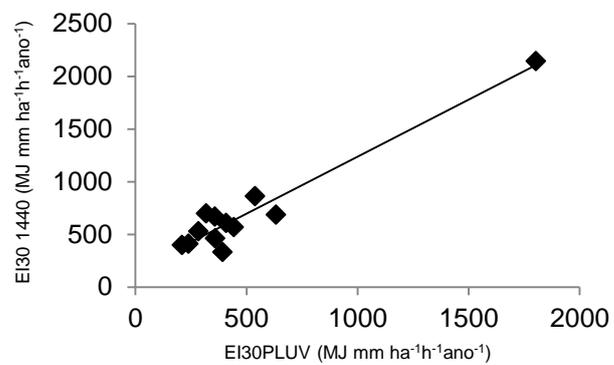
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	EI30 ₁₄₄₀
1982	143,7	446,9	63,6	0,0	540,8	250,5	439,5	2086,6	1083,7	465,3	279,6	69,5	5869,7
1983	307,8	13020,3	210,9	141,7	225,6	1118,3	462,0	324,2	299,6	145,6	537,8	154,2	16947,9
1984	1586,9	546,5	141,1	871,6	1582,7	632,8	185,9	262,5	3100,6	283,4	156,1	21,4	9371,4
1985	102,1	26,9	407,0	122,7	297,6	581,7	761,2	904,6	329,1	67,7	58,2	105,2	3764,1
1986	1268,9	1136,4	965,6	1756,6	3163,2	311,7	45,8	488,9	358,7	383,3	1315,8	233,0	11427,9
1987	145,6	126,7	645,5	1154,0	83,0	18,6	1449,0	2749,1	467,6	293,4	157,5	291,5	7581,4
1988	370,1	640,5	26,4	330,7	70,7	236,2	254,9	42,7	550,8	181,7	278,8	11,4	2995,0
1989	1078,3	50,8	33,6	205,7	37,8	53,8	0,0	48,5	86,2	171,5	664,6	421,2	2851,8
1990	317,2	2570,1	658,3	520,4	41,4	0,0	145,2	32,9	549,2	123,0	569,8	1186,5	6714,0
1991	0,0	37,4	385,4	2267,5	462,3	406,9	668,0	25,7	1061,9	1466,0	976,4	197,6	7954,8
1992	144,0	2934,4	575,8	1796,8	190,0	327,2	375,1	213,4	582,4	164,7	194,6	898,4	8396,8
1993	1019,5	1424,0	0,0	404,0	829,7	197,6	392,8	121,5	0,0	652,3	1296,4	668,4	7006,4
1994	3397,5	3198,4	261,5	31,6	342,7	894,0	688,3	235,8	125,2	1352,1	60,0	139,9	10727,1
1995	59,3	1150,7	549,6	263,4	11,9	544,6	4188,1	270,3	702,6	94,7	158,9	474,8	8468,8
1996	467,7	1490,5	15,0	395,4	0,0	160,1	0,0	506,5	48,0	370,9	0,0	606,8	4060,9
1997	634,9	3181,8	247,7	0,0	722,2	296,7	1183,8	612,7	639,1	758,8	939,2	3483,0	12699,8
1998	590,9	4424,6	420,6	4384,7	377,5	705,6	613,6	2400,2	304,0	0,0	186,7	679,5	15088,2
Média	684,4	2141,6	329,9	861,6	528,2	396,3	697,2	666,2	605,2	410,3	460,6	567,2	8348,6
DP	840,1	3107,5	280,4	1145,7	788,0	312,1	983,5	872,7	715,8	427,5	433,5	821,4	4063,1
CV	122,7	145,1	85,0	133,0	149,2	78,8	141,1	131,0	118,3	104,2	94,1	144,8	48,7
Máx	3397,5	13020,3	965,6	4384,7	3163,2	1118,3	4188,1	2749,1	3100,6	1466,0	1315,8	3483,0	16947,9
Mín	0,0	26,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	25,7	0,0	0,0	0,0	11,4	2851,8

Apêndice 4- Curva de ajuste linear entre os valores médios mensais do $EI_{30_{PLUV}}$ e $EI_{30_{DESAG}}$ (a) e do $EI_{30_{PLUV}}$ e $EI_{30_{1440}}$ (b) para Pelotas, RS, com base nos valores médios mensais de chuva do período de 1982 e 1998.

a)



b)



Apêndice 5 – Dados de EI30_{1440BLM} médios mensais e anuais para os municípios brasileiros localizados na BLM.

Municípios e Bacia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	EI30 _{1440BLM}
Aceguá	672	856	672	1094	835	719	683	533	787	708	717	590	8864
Arroio Grande	753	979	662	947	786	655	801	602	734	650	570	538	8676
Arroio do Padre	774	923	701	890	779	731	961	618	793	705	665	610	9149
BLMirim	724	930	667	993	821	699	787	625	756	668	627	543	8838
Bagé	696	881	685	1139	868	746	749	547	849	736	753	638	9286
Candiota	638	854	686	1182	852	728	712	501	833	720	769	615	9090
Canguçu	835	855	657	943	834	760	928	614	798	744	700	620	9288
Capão do Leão	716	992	639	862	644	668	743	606	679	651	552	546	8296
Cerrito	791	975	561	947	789	753	883	624	740	673	810	589	9134
Chuí	722	916	676	950	842	713	757	663	768	673	622	543	8846
Herval	760	822	666	1038	906	725	803	565	692	710	659	554	8901
Hulha Negra	667	867	685	1162	859	735	719	523	837	725	759	624	9163
Jaguarão	737	894	671	995	855	708	805	615	735	683	625	544	8868
Morro Redondo	803	940	597	926	776	760	913	630	749	696	757	589	9136
Pedras Altas	596	817	656	1077	797	700	670	473	744	688	748	548	8514
Pedro Osório	776	993	635	947	767	655	799	579	733	642	622	559	8706
Pelotas	694	958	689	855	680	685	881	604	774	652	613	572	8659
PinheiroMachado	683	852	708	1272	896	738	814	521	870	749	728	652	9483
Piratini	773	877	636	1113	848	731	844	566	778	709	687	610	9173
Rio Grande	689	1067	683	915	725	636	761	681	748	612	472	493	8483
Santa Vitória do Palmar	726	932	682	934	869	715	773	718	772	660	601	512	8894

*Unidades em: MJ mm ha⁻¹h⁻¹ano⁻¹

Apêndice 6– Índices de erosividade ($EI_{30,1440BLM}$), máximos de diferentes municípios localizados integral ou parcialmente na Bacia Hidrográfica Lagoa Mirim

Municípios BLM	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	$EI_{30,1440BLM}$
Aceguá	691	867	680	1141	849	730	707	552	817	720	741	612	9108
Arroio Grande	821	1106	691	1033	900	722	839	733	768	709	678	564	9564
Arroio do Padre	863	950	730	923	816	759	989	633	803	731	707	635	9539
BLMirim	1128	1189	776	1497	990	826	1085	815	1023	802	933	750	11815
Bagé	728	961	737	1373	989	824	841	564	1056	791	975	773	10613
Candiota	683	931	729	1344	960	797	816	530	1001	776	907	736	10212
Canguçu	1128	970	704	1059	934	826	1085	688	868	802	859	667	10590
Capão do Leão	788	1051	671	936	783	764	870	630	738	681	816	591	9320
Cerrito	810	1028	643	1016	815	797	966	647	753	694	912	602	9685
Chuí	723	918	677	953	847	714	759	670	769	675	624	547	8875
Herval	820	979	683	1103	990	747	864	594	743	748	765	576	9613
Hulha Negra	691	906	707	1246	915	773	788	541	927	757	832	689	9771
Jaguarão	773	980	678	1035	917	728	838	693	763	718	660	559	9341
Morro Redondo	931	971	663	949	844	782	1000	648	807	746	856	603	9800
Pedras Altas	715	845	676	1174	868	718	749	550	789	707	837	577	9204
Pedro Osório	805	1060	656	1052	848	708	815	596	742	671	730	573	9255
Pelotas	983	1016	760	954	871	792	1023	657	862	763	762	653	10097
PinheiroMachado	790	983	776	1497	1015	842	873	561	1103	802	1032	803	11078
Piratini	844	1052	737	1379	955	797	955	619	990	793	889	732	10741
Rio Grande	770	1189	708	978	791	664	798	815	784	641	567	555	9261
Santa Vitória do Palmar	738	1055	689	953	939	741	793	800	781	675	624	547	9334

*Unidades em: MJ mm ha⁻¹h⁻¹ano⁻¹

Apêndice 7– Índices de erosividade ($EI_{30_{1440}BLM}$), mínimos de diferentes municípios localizados integral ou parcialmente na Bacia Hidrográfica Lagoa Mirim

Municípios e bacia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	$EI_{30_{1440}BLM}$
Aceguá	638	837	665	1071	818	709	661	505	757	698	702	569	8630
Arroio Grande	685	835	638	812	678	534	722	520	695	600	438	458	7616
Arroio do Padre	717	883	681	868	728	704	925	608	779	676	633	594	8795
BLMirim	463	716	513	794	481	534	591	386	567	549	338	398	6330
Bagé	665	858	673	1057	836	722	690	523	790	710	699	595	8818
Candiota	563	813	656	1085	783	697	639	452	758	686	708	552	8390
Canguçu	683	787	546	738	751	734	761	557	746	651	550	590	8095
Capão do Leão	628	952	554	803	481	576	640	552	567	623	415	513	7304
Cerrito	770	952	513	870	707	613	776	568	720	634	550	550	8225
Chuí	722	914	675	948	837	712	755	656	768	672	620	539	8819
Herval	645	753	601	1008	804	701	707	498	630	623	612	540	8123
Hulha Negra	627	837	665	1091	816	708	659	496	766	697	725	569	8657
Jaguarão	721	816	667	950	809	679	774	564	684	649	566	517	8396
Morro Redondo	739	864	539	890	694	727	829	618	712	676	638	567	8494
Pedras Altas	463	793	632	1043	712	680	591	386	713	660	674	512	7859
Pedro Osório	761	907	610	838	697	561	774	538	720	619	486	540	8051
Pelotas	538	840	619	790	485	599	656	560	570	558	419	514	7149
Pinheiro Machado	538	716	637	1059	764	649	673	434	727	675	440	537	7849
Piratini	670	747	549	961	776	673	771	514	724	549	469	568	7972
Rio Grande	619	982	661	808	499	590	660	579	584	567	338	398	7285
Santa Vitória do Palmar	694	909	675	909	782	656	755	656	765	620	490	480	8391

*Unidades em: $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$

Apêndice 8– Desvio padrão dos índices de erosividade ($EI30_{1440BLM}$) de diferentes municípios localizados integral ou parcialmente na Bacia Hidrográfica Lagoa Mirim

Municípios e bacia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
Aceguá	10,9	6,8	3,0	14,2	5,2	4,3	8,3	9,7	12,2	4,8	8,3	9,5	8,1
Arroio Grande	25,3	63,5	8,2	58,6	56,2	49,1	24,4	37,6	13,8	24,8	59,7	16,6	36,5
Arroio do Padre	31,3	15,7	10,3	12,3	19,7	11,3	14,0	5,3	5,9	11,6	15,6	8,7	13,5
BLMirim	68,1	85,9	30,3	105,2	76,8	42,5	69,2	84,7	40,9	40,2	102,5	43,6	65,8
Bagé	9,8	16,5	12,3	60,9	29,8	19,9	41,4	8,2	50,3	18,4	48,5	34,5	29,2
Candiota	28,6	28,1	18,7	66,5	43,1	25,0	48,4	17,7	61,1	23,2	37,8	46,3	37,0
Canguçu	100,3	32,1	26,0	63,5	33,3	21,4	71,0	27,0	22,6	25,2	60,2	15,4	41,5
Capão do Leão	44,1	22,1	23,2	31,7	73,4	38,9	51,9	16,3	44,5	14,1	82,7	16,9	38,3
Cerrito	8,8	9,5	31,1	23,7	19,5	37,8	48,2	17,3	5,0	14,7	78,8	11,5	25,5
Chuí	0,4	0,7	0,3	1,0	2,1	0,4	0,9	3,2	0,1	0,7	0,9	1,8	1,0
Herval	32,6	46,9	15,8	20,1	40,3	10,3	34,7	16,2	28,9	25,0	30,1	8,1	25,7
Hulha Negra	18,4	17,2	9,8	33,9	24,2	15,9	34,6	11,9	36,9	14,9	21,9	28,5	22,3
Jaguarão	9,5	39,6	2,2	22,3	21,2	10,1	10,8	31,6	17,7	17,1	21,2	10,9	17,9
Morro Redondo	33,3	24,9	31,0	9,8	24,6	11,3	40,0	5,3	18,4	14,5	43,9	6,6	21,9
Pedras Altas	65,5	13,6	9,3	18,0	39,3	10,3	32,5	43,1	11,4	11,6	40,1	14,3	25,8
Pedro Osório	9,2	32,7	11,1	56,9	38,7	38,8	7,6	12,4	5,7	9,3	62,9	8,7	24,5
Pelotas	102,1	43,4	23,7	43,4	89,9	51,5	76,2	22,3	58,6	53,7	64,8	29,3	54,9
Pinheiro Machado	43,8	66,8	32,5	110,9	52,6	52,8	43,5	24,4	100,6	30,6	143,6	68,6	64,2
Piratini	36,7	76,6	37,9	73,3	23,5	18,6	40,3	21,7	42,0	66,5	99,9	27,1	47,0
Rio Grande	25,4	61,0	12,1	44,6	57,5	14,7	28,9	68,1	31,6	21,2	61,1	46,0	39,3
Santa Vitória do Palmar	8,1	29,1	3,2	10,2	34,1	16,8	8,9	33,5	3,8	9,6	25,4	15,1	16,5

Apêndice 9– Valores de $EI30_{1440\text{BLM}}$ e altitude dos municípios que se localizam integral ou parcialmente na BLM lado brasileiro.

MUNICÍPIO	$EI30_{1440\text{BLM}}$ (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹)	ALTITUDE (m)
PinheiroMachado	9483	282,7
Canguçu	9288	231,4
Bagé	9286	241,3
Piratini	9173	235,7
Hulha Negra	9163	225,8
Arroio do Padre	9149	168,8
Morro Redondo	9136	165,7
Cerrito	9134	104,8
Candiota	9090	210,4
Herval	8901	184,4
Santa Vitória do Palmar	8894	6,9
Jaguarão	8868	47,3
Aceguá	8864	150,7
Chuí	8846	13,4
Pedro Osório	8706	69,7
Arroio Grande	8676	40,9
Pelotas	8659	74,9
Pedras Altas	8514	191,9
Rio Grande	8483	6,4
Capão do Leão	8296	35,2