

Distribuição espacial da erosividade da chuva na Bacia do Alto Paraguai, Brasil.

Sérgio Galdino^{1,2}
Célia Regina Grego²
João dos Santos Vila da Silva³

¹ Embrapa Pantanal
Rua 21 de Setembro, 1880 - Caixa Postal 109
79320-900 – Corumbá – MS, Brasil
sergio.galdino@embrapa.br

² Embrapa Monitoramento por Satélite
Av. Soldado Passarinho, 303 – Fazenda Chapadão
13070-115 – Campinas – SP, Brasil
celia.grego@embrapa.br

³ Embrapa Informática Agropecuária
Av. André Tosello, 209 - Barão Geraldo - Caixa Postal 6041
13083-886 - Campinas, SP, Brasil
joao.vila@embrapa.br

Resumo. A erosividade da chuva é um índice numérico que expressa a capacidade das chuvas em provocar erosão hídrica no solo. O mapeamento da erosividade da chuva é instrumento prático e indispensável para o planejamento do uso do solo em escalas regionalizadas, como grandes bacias hidrográficas. O objetivo deste estudo foi avaliar a distribuição espacial do potencial erosivo anual da chuva para a Bacia do Alto Paraguai em território brasileiro (BAP), fornecendo informações básicas ao planejamento de uso e manejo sustentável do solo. Para isso, foram analisadas 125 estações pluviométricas localizadas na BAP e no seu entorno. A erosividade da chuva foi estimada para cada uma das estações a partir de equação de Fournier ajustada para condição de regime climático semelhante a da BAP. Na espacialização do potencial erosivo procedeu-se à interpolação dos valores de erosividade das estações pelo método do inverso do quadrado da distância. Posteriormente foram calculados valores médios de erosividade para polígonos de Thiessen das áreas de influência das estações pluviométricas. A erosividade anual na BAP variou de 5.112 a 9.215, com média de 6.806 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. A erosividade foi classificada como moderada a forte em 72% da BAP e em 28% da bacia o potencial erosivo das chuvas foi classificado como forte. Observou-se também aumento da erosividade no sentido sudoeste para nordeste. Os elevados valores de erosividade das chuvas na BAP, associados a áreas com relevo mais acidentado e solos mais susceptíveis a erosão constituem áreas de maior vulnerabilidade natural a erosão hídrica. O uso dessas terras deve ser criterioso para minimizar a erosão do solo e seus impactos para o Pantanal.

Palavras-chave: erosividade da chuva, bacia do alto Paraguai, sistema de informação geográfico, Pantanal.

Abstract. Rainfall erosivity is a numerical index that expresses the capacity of rainfall to lead to soil erosion. Mapping rainfall erosivity is a practical and indispensable tool for land use planning at regional scale, like large river basins. The objective of this study was to evaluate the spatial distribution of the annual erosive potential of rainfall for the Alto Paraguai river basin on Brazilian territory (BAP), providing basic use planning and sustainable land management information. For this, 125 pluviometric stations located in BAP and its surroundings were analyzed. The rainfall erosivity was estimated for each station from Fournier equation adjusted for condition climatic regime similar the BAP. For the spatial distribution of the erosive potential, the values for erosivity in each station were interpolated using the method of the inverse square of the distance. Subsequently average erosivity values for the Thiessen polygons were calculated for the surroundings of pluviometric stations. Annual erosivity at BAP ranged from 5,112 to 9,215, with an average of 6,806 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹. Erosivity was classified as moderate to strong in 72% of BAP and in 28% of the basin the erosive potential of rainfall was classified as strong. An increase in erosivity going from southwest to northeast was also observed. Areas with high values of rainfall erosivity in BAP, associated with hilly areas and with soils that are more susceptible to erosion present greatest vulnerability to natural rainfall erosion. These lands should be carefully handled to minimize soil erosion and its impacts on the Pantanal.

Key-words: rainfall erosivity, Alto Paraguai river basin, geographic information system, Pantanal.

1. Introdução

Um dos maiores impactos ambientais e socioeconômicos no Pantanal Brasileiro é a intensificação dos processos erosivos nas áreas de planalto, onde nascem os rios da bacia do alto Paraguai (BAP). O maior exemplo é o assoreamento do rio Taquari. A principal causa desse assoreamento foi a expansão desordenada da agropecuária na bacia do alto Taquari a partir da década de 70 (Galdino e Vieira, 2005).

A erosividade da chuva é um índice numérico que expressa a capacidade das chuvas em provocar erosão hídrica no solo (Wishmeier e Smith, 1978). O conhecimento da intensidade e distribuição espaço-temporal da erosividade da chuva é instrumento prático e indispensável para o planejamento do uso do solo direcionado a redução da erosão hídrica em escalas regionalizadas, como grandes bacias hidrográficas. Wischmeier e Smith (1978) demonstraram que a erosividade da chuva é diretamente proporcional ao produto de duas de suas características: energia cinética e intensidade máxima em trinta minutos. No entanto, no Brasil há uma carência de registros pluviográficos, necessários a estimativa da erosividade das chuvas conforme proposto por Wischmeier e Smith (1978). Assim, vários estudos foram realizados no Brasil, utilizando índice de Fournier modificado (IFM) para estimar a erosividade das chuvas com base em dados pluviométricos (Oliveira et al, 2012).

2. Objetivo

Avaliar a intensidade e distribuição espaço-temporal da erosividade da chuva na bacia do alto Paraguai em território brasileiro (BAP), utilizando índice de Fournier modificado, para fornecer informações básicas ao planejamento de uso e manejo sustentável do solo.

3. Material e Métodos

A área de estudo compreendeu a bacia hidrográfica do alto Paraguai em território brasileiro (BAP). A BAP (**Figura 1**) apresenta uma superfície de 361.465 km², sendo que aproximadamente 52% de suas terras está localizada no Estado de Mato Grosso do Sul, e cerca de 48% localiza-se no Estado de Mato Grosso. A BAP compreende o Pantanal, com superfície de 138.185 km², e as áreas de planalto, com 223.280 km². A maior parte do Pantanal (64%) está localizada no Mato Grosso do Sul, enquanto que 56% das terras do planalto situam-se no Mato Grosso.

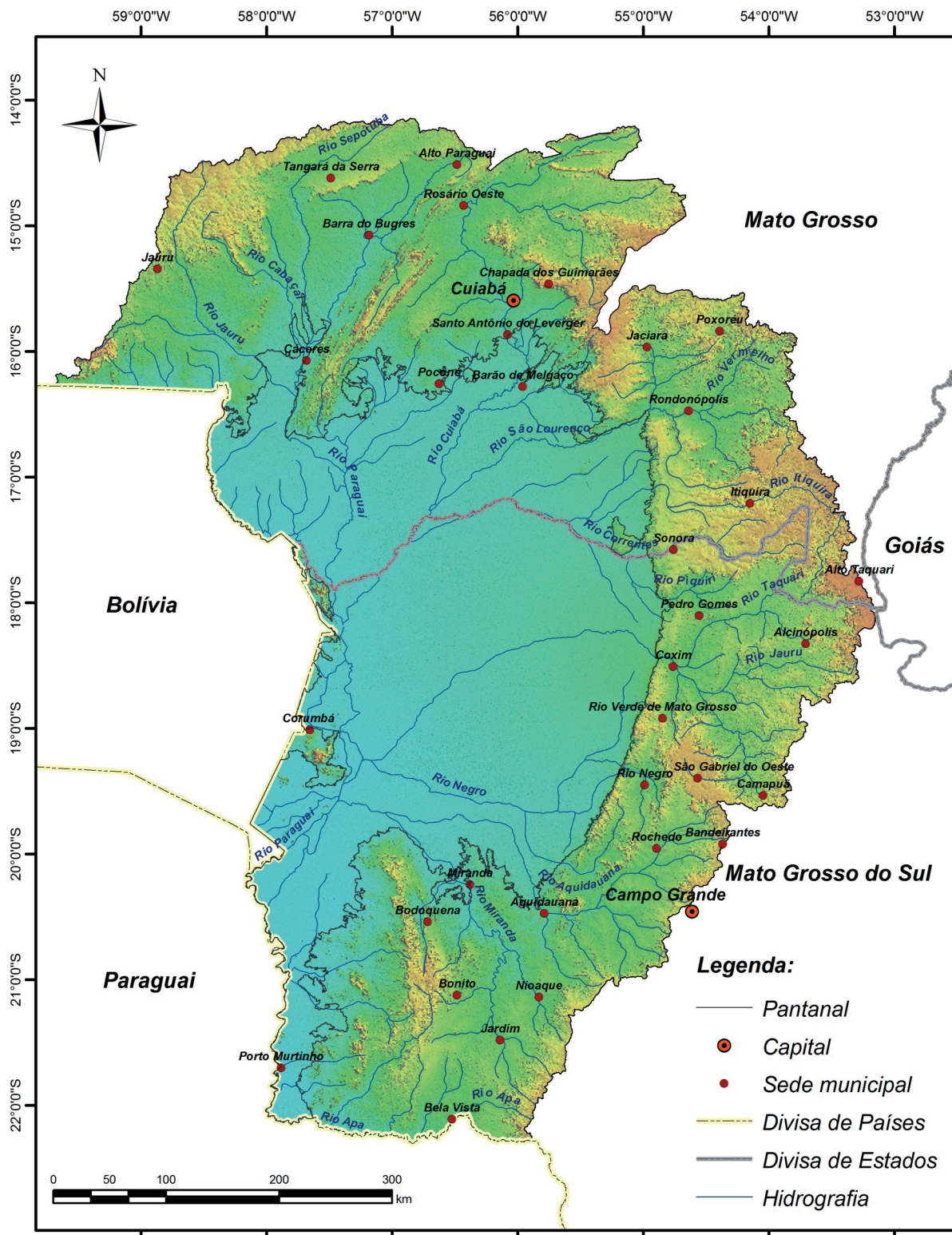


Figura 1. Mapa da bacia hidrográfica do alto Paraguai (BAP): hidrografia, divisa de Estados e Países, e sedes estaduais e municipais.

A BAP e entorno não dispõem de séries longas de registros pluviográficos. A principal fonte de dados de chuva disponível é proveniente de postos pluviométricos da Agência Nacional de Águas (ANA). Assim, avaliou-se a aplicabilidade do uso do IFM de Lombardi Neto e Molden-

hauer (1992) na estimativa da erosividade das chuvas na região. Este IFM muito conhecido e utilizado no Brasil foi desenvolvido a partir de 22 anos de registros de precipitação de Campinas (de 1954 a 1975). Os autores encontraram alta correlação entre a média mensal do índice de erosão e a média mensal do coeficiente de chuva, conforme a **Equação 1**.

$$EI = 68,730 \left(\frac{p^2}{P} \right)^{0,841} \quad (1)$$

em que:

EI = média mensal do índice de erosão em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹;

p = precipitação média mensal em mm;

P = precipitação média anual em mm.

A erosividade média anual das chuvas em um posto pluviométrico é estimada pelo somatório dos seus índices mensais de erosão (EI).

Silva (2003) mapeando a erosividade das chuvas no Brasil utilizou a **Equação 1** para estimar o potencial erosivo das chuvas na maior parte da superfície da BAP.

Para avaliar a aplicabilidade da **Equação 1**, foram comparados os totais anuais de precipitação média e a distribuição mensal das precipitações e dos índices mensais de erosão de Campinas, SP e da região da BAP e entorno. Foram determinados coeficientes de correlação linear de Pearson (r) entre as médias mensais de chuva de 125 postos pluviométricos da BAP e entorno com os registros de chuva de Campinas, no período de 1954 a 1975. Os valores de r obtidos foram elevados, variando de 0,8073 a 0,9828, com média de 0,9345. A precipitação média anual em Campinas foi de 1.359 mm e os postos da BAP e entorno apresentaram média de 1.406 mm. A grande semelhança no regime pluviométrico caracterizado para Campinas no período entre 1954 e 1975 em relação àquele caracterizado com base nos registros dos postos pluviométricos da ANA foram considerados satisfatórios para emprego da **Equação 1** aos dados de chuva da BAP e entorno.

Para estimativa da erosividade da chuva ou índice de erosão pela **Equação 1** foi utilizado a planilha eletrônica Excel, considerando-se apenas os valores de precipitação mensal e anual provenientes de anos que não apresentaram falhas de dados. Os 125 postos pluviométricos, selecionados apresentaram de 18 a 73 anos de registros anuais completos. O posto mais antigo apresentou registros pluviométricos a partir do ano de 1932. A maioria dos dados de chuva disponibilizada pela ANA se encerrou no ano de 2010.

No mapeamento da erosividade das chuvas, seguiram-se os procedimentos descritos por Weill et al. (2001) para a bacia do rio Mogi Guaçu em SP. Calculadas as erosividades para cada posto de acordo com a **Equação 1**, procedeu-se à interpolação dos 125 valores de erosividade pelo método do inverso do quadrado da distância utilizando o *software* ArcGIS (ESRI, 2005). Ainda no ArcGIS, foram calculados polígonos de Thiessen a partir das coordenadas geográficas dos postos pluviométricos, delimitando-se áreas de influência para cada posto na BAP e entorno. Posteriormente, esses polígonos foram recortados apenas para a BAP, utilizando o limite da bacia (arquivo *shape*) e a ferramenta *Clip* da extensão *Analysis Tools* do ArcGIS. Tendo por base o mapa interpolado (imagem a ser processada) e os polígonos de Thiessen na BAP (imagem de definição ou máscara), foi calculado o valor médio de erosividade anual por polígono.

4. Resultados e Discussão

Na **Tabela 1** é apresentada a distribuição mensal da precipitação e da erosividade média das estações pluviométricas da BAP e entorno.

Tabela 1. Distribuição mensal da precipitação e da erosividade média das estações pluviométricas da BAP e entorno.

Mês	Precipitação média		Erosividade média	
	(mm)	(%)	(MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)	(%)
Janeiro	232,6	16,54	1.490	21,15
Fevereiro	198,8	14,15	1.145	16,25
Março	177,6	12,63	948	13,45
Abril	99,2	7,05	356	5,06
Maio	63,7	4,53	181	2,57
Junho	27,5	1,95	50	0,72
Julho	17,3	1,23	23	0,33
Agosto	22,1	1,57	32	0,46
Setembro	63,6	4,52	172	2,45
Outubro	120,6	8,58	494	7,01
Novembro	170,2	12,11	878	12,46
Dezembro	212,5	15,12	1.276	18,11

O período de maior incidência de chuvas é de outubro a março, quando ocorre cerca de 80% do índice total anual pluviométrico na região. A distribuição da erosividade média mensal dos postos pluviométricos acompanhou, como esperado, a distribuição da precipitação média mensal, com os maiores valores de erosividade média mensal ocorrendo no período entre outubro e março. Nesse período se concentram aproximadamente 88% do total anual da erosividade, merecendo especial atenção quanto ao uso e manejo agrícolas e seleção das práticas conservacionistas, de modo a prevenir ou minimizar a erosão hídrica na região.

A distribuição da erosividade anual das chuvas na BAP, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, pode ser visualizada na **Figura 2**.

Observando a **Figura 2** verifica-se aumento da erosividade das chuvas no sentido sudoeste para nordeste da BAP.

A erosividade média anual na BAP foi estimada em 6.806 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, variando de 5.112 e 9.215 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. O Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – PCBAP (Risso et al., 1997) avaliando a produção de sedimentos na bacia, estimou a erosividade da chuva na BAP variando entre 5.886 e 9.319 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. O estudo realizado pelo PCBAP também empregou o IFM de Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) na estimativa da erosividade das chuvas nos postos pluviométricos. Entretanto, foram usados interpoladores distintos, inverso do quadrado da distância no presente trabalho e krigagem no estudo do PCBAP. No presente estudo foi empregado um número maior de postos pluviométricos com uma série de dados maior, mais atualizada e consistida que a utilizada pelo PCBAP. Assim, é de se esperar que os valores obtidos no presente estudo representem bem a distribuição da erosividade da chuva na BAP.

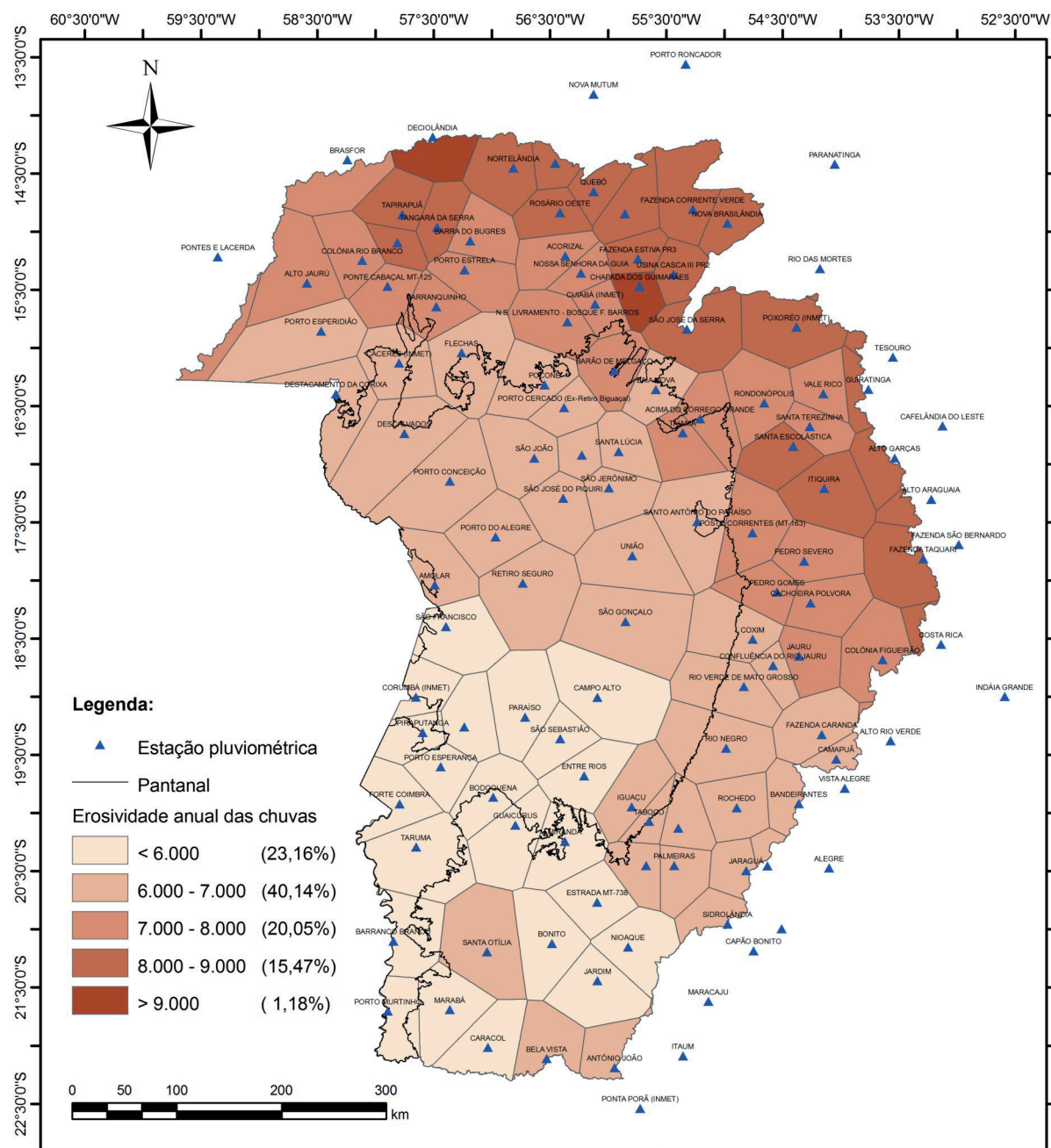


Figura 2. Mapa da distribuição da erosividade anual das chuvas na BAP, em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹.

A erosividade média anual no Pantanal estimada nesta pesquisa foi de 6.160 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, oscilando entre 5.112 e 8.351 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Nos planaltos da BAP, a erosividade média anual foi de 7.206, variando de 5.112 a 9.215 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Assim, como era de se esperar, a erosividade das chuvas nos planaltos foi 17% maior que a erosividade média estimada para o Pantanal.

Carvalho (1994) propôs classificação da erosividade das chuvas em cinco escalas; fraca, moderada, moderada a forte, forte, e muito forte. A distribuição das classes de erosividade anual das chuvas na BAP pode ser visualizada na **Figura 3**.

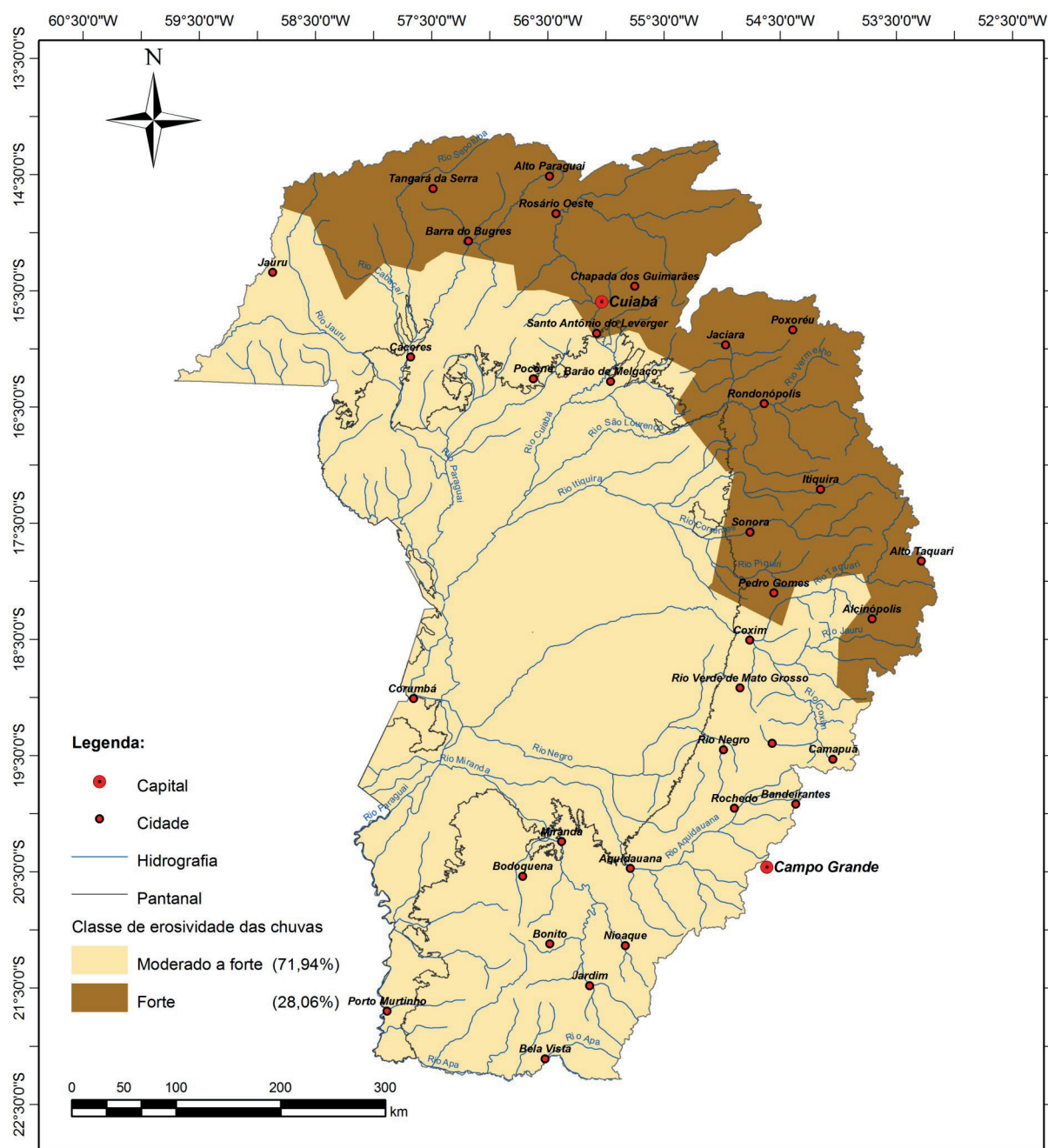


Figura 3. Mapa da distribuição das classes de erosividade anual das chuvas na BAP.

Na BAP foram observadas apenas as classes de erosividade das chuvas; moderada a forte, e moderada. A classe de erosividade “moderada a forte” proposta por Carvalho (1994), modificada para o sistema métrico internacional, de acordo com Foster et al. (1981), compreende valores entre 4.905 e 7.357 MJ m m ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Valores compreendidos entre 7.357 e 9.810 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, correspondem a classe de erosividade “forte”.

Observando a **Figura 3** verifica-se que a erosividade das chuvas na BAP é elevada, pois em 72% da bacia o potencial erosivo das chuvas foi classificado como moderado a forte e em 28% da sua superfície, a erosividade foi classificado como forte.

Erosividade forte ocorreu no norte e nordeste da BAP, compreendendo as bacias das cabeceiras dos rios: Jauru; Cabaçal; Sepotuba; Paraguai; Cuiabá; São Lourenço, incluindo o seu

principal tributário, o rio Vermelho; Itiquira e seus tributários, rios Correntes e Piquiri; Taquari e o seu tributário, o rio Jauru. Isso não significa que as demais bacias de cabeceiras sejam isentas do risco erosivo das chuvas, mas que este é menor do que nas acima listadas.

A identificação das áreas de planalto da BAP mais críticas quanto perda de solo e conseqüente maior potencial de aporte de sedimentos para o Pantanal, depende do levantamento de outros fatores que influenciam esses fenômenos, tais como; a erodibilidade do solo, o relevo, a cobertura vegetal, e o uso de práticas conservacionistas do solo. Assim, áreas com elevados valores de erosividade das chuvas na BAP, associadas com relevo mais acidentado e solos mais susceptíveis a erosão constituem áreas de maior vulnerabilidade natural a erosão hídrica. O uso dessas terras deve ser criterioso para minimizar a erosão do solo e seus impactos para o Pantanal.

5. Conclusões

- A distribuição da precipitação média mensal de postos pluviométricos da BAP e entorno apresentou alta correlação com registros de chuva de Campinas, no período de 1954 a 1975. O índice de Fournier modificado desenvolvido por Lombardi Neto e Moldenhauer (1992) apresentou bom potencial para estimativa da erosividade anual das chuvas de postos pluviométricos da BAP e entorno.

- O período de maior incidência de chuvas na BAP é de outubro a março, quando ocorre cerca de 80% do índice total anual pluviométrico na região. Este período concentra aproximadamente 88% do total anual da erosividade das chuvas na bacia.

- A erosividade média anual das chuvas na BAP foi de $6.806 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, variando de 5.112 e $9.215 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. A erosividade média anual no Pantanal foi de $6.160 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$ e nos planaltos da BAP foi de $7.206 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Verificou-se aumento da erosividade das chuvas no sentido sudoeste para nordeste da BAP.

- A erosividade das chuvas na BAP é elevada. Em 72% superfície da bacia o potencial erosivo das chuvas foi classificado como moderado a forte e em 28% como forte.

- Erosividade forte ocorreu no norte e nordeste da BAP, compreendendo as bacias das cabeceiras dos rios: Jauru; Cabaçal; Sepotuba; Paraguai; Cuiabá; São Lourenço, incluindo o seu principal tributário, o rio Vermelho; Itiquira e seus tributários, rios Correntes e Piquiri; Taquari e o seu tributário, o rio Jauru. Essas áreas merecem especial atenção quanto ao uso e manejo agrícolas e seleção das práticas conservacionistas, de modo a prevenir ou minimizar a erosão hídrica.

6. Agradecimentos

A Embrapa monitoramento por Satélite pela disponibilização de sua infra-estrutura em geotecnologia que viabilizaram a realização desta pesquisa.

7. Referências

Carvalho, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. Interciência, Rio de Janeiro. 372 p., 1994

ESRI. *Environmental Systems Research Institute. ArcGIS Desktop Help*. Redlands, California, USA, 2005.

Foster, G. R.; McCool, D. K.; Renard, K.G.; Moldenhauer, W.C. Conversion of the universal soil loss equation to SI metric units. **Journal of Soil and Water Conservation** 36, 355–359, 1981.

Galdino, S.; Vieira, L. M. A Bacia do Rio Taquari e seus problemas ambientais e socioeconômicos. In: Galdino, S.; Vieira, L. M.; Pellegrin, L. A. (Ed.) **Impactos ambientais e socioeconômicos na Bacia do Rio Taquari – Pantanal**. Campo Grande: Gráfica Mundial; Corumbá: Embrapa Pantanal, p.29-43, 2005.

Lombardi Neto, F.; Moldenhauer, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. **Bragantia**, Campinas, 51(2): 189-196, 1992.

Oliveira, P. T. S., Wendland, E., Nearing, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: a review. **Catena**, v. 100, p. 139-47, 2012.

Risso, A.; Bordas, M. P.; Borges, A. L. Produção de sedimentos. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal. **Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal)–PCBAP**: hidrossedimentologia do Alto Paraguai. Brasília: MMA/PNMA, v. 2, p. 281-317, 1997.

Silva, A. M. Rainfall erosivity map for Brazil. **Catena**, v. 57, p. 251-59, 2004.

Weill, M. A. M.; Rocha, J. V.; Lamparelli, R. A. C. Potencial natural de erosão e riscos de degradação na bacia hidrográfica do Rio Mogi-Guaçu (SP), In: Simpósio nacional de controle de erosão, 8., Goiânia, 2001. **Anais**. Goiânia, ABGE, p.1-10, 2001.

Wischmeier, W. H.; Smith, D. D. Predicting Rainfall Erosion Losses: a Guide to Conservation Planning. Washington, USDA, 58p. (**Agricultural Handbook**, 537), 1978.