

Análise Multi-temporal da Perda de Solo por Erosão Hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru-MT, Brasil

Multi-temporal Analysis of Soil Loss by Water Erosion in the Jauru-MT River Basin, Brazil

Camila Calazans da Silva Luzⁱ

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Seropédica, Brasil

Sandra Mara Alves da Silva Nevesⁱⁱ

Universidade do Estado de Mato Grosso
Cáceres, Brasil

Alexander Webber Perlandim Ramosⁱⁱⁱ

Universidade Federal de Minas Gerais
Belo Horizonte, Brasil

Resumo: O objetivo deste trabalho foi analisar a perda de solo por erosão hídrica, através da aplicação da equação universal de perda de solo, na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru-MT. A integração dos fatores erodibilidade (Fator K), erosividade (Fator R), topografia (Fator LS) e os condicionantes cobertura e uso da terra e manejo e práticas conservacionistas do solo (Fator CP), resultaram nos mapas (1986, 1996, 2006 e 2016) de perda potencial de solos. O Fator R variou de 6.280,60 a 11.012,02 mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ (média a extremamente forte erosividade). O Fator K variou entre 0,01 e 0,055 Mj mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, com média de 0,0358 Mj mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. A bacia apresentou fraco potencial erosivo, com mais de 80% da área com perdas de solo ≤ 10 t ha⁻¹ ano⁻¹, sendo identificadas as maiores perdas estimadas de solo em 1996 e 2016 nas áreas de maior declividade.

Palavras-chave: Conservação do Solo; Geoprocessamento; Processos Erosivos.

Abstract: The objective of this work was to analyze the loss of soil by water erosion, through the application of the universal equation of soil loss, in the Jauru River Basin-MT. The integration of the factors erodibility (Factor K), erosivity (Factor R), topography (Factor LS) and the conditioning factors land cover and use and soil conservation management and practices (Factor CP), resulted in the maps (1986, 1996, 2006 and 2016) of potential

ⁱ Doutoranda pelo Programa de Pós-graduação em Agronomia – Ciências do Solo. camila_agronomia@hotmail.com. orcid.org/0000-0003-4411-7369.

ⁱⁱ Professora Adjunta do Departamento de Geografia e dos Programas de Pós-graduação em Geografia e Ciências Ambientais. ssneves@unemat.br. https://orcid.org/0000-0002-2065-244X.

ⁱⁱⁱ Doutorando pelo Programa de Pós-graduação em Geografia. webber.unemat@gmail.com. https://orcid.org/0000-0002-5803-2123.

soil loss. Factor R ranged from 6,280.60 to 11,012.02 mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹ (medium to extremely strong erosivity). Factor K ranged from 0.01 to 0.055 Mj mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹, with a mean of 0.0358 Mj mm ha⁻¹ h⁻¹ year⁻¹. The basin presented weak erosive potential, with more than 80% of the area with soil losses ≤ 10 t ha⁻¹ year⁻¹, being identified the highest estimated losses of soil in 1996 and 2016 in the areas of greater slope.

Keywords: Soil Conservation; Geoprocessing; Erosive Processes.

Introdução

Atualmente, no Brasil, um dos principais fatores que contribui para a perda da capacidade produtiva do solo é a erosão hídrica que, apesar de ser um fenômeno natural, ao ser intensificada por ações antrópicas, corresponde à forma mais prejudicial de degradação, possuindo a capacidade de tornar insustentáveis os sistemas de produção agrícola (COGO et al., 2003; HERNANI et al., 2002).

A erosão hídrica pode ser fomentadora de vários impactos ambientais, que atingem a população urbana e rural, tal como a perda da biodiversidade, o comprometimento da qualidade da água, a redução da produtividade agrícola, o assoreamento dos rios, a redução da capacidade de drenagem e deslizamentos, entre outros (MATA et al., 2007).

Os processos erosivos são influenciados por diversos fatores, destacando-se os elementos climáticos, a suscetibilidade natural dos solos, as características do relevo e intervenção antrópica por meio do uso. As alterações que ocorrem nesses fatores podem causar aumento substancial na taxa de erosão e sedimentação, podendo tornar a taxa de perda de solos superior à de formação (DERMACHI e ZIMABACK, 2014; CURTI et al., 1993).

Com a intenção de promover a melhor compreensão da erosão e suas consequências, após a década de 1950, têm sido desenvolvidos inúmeros modelos empíricos para previsão de perdas de solo por erosão hídrica, estabelecendo importantes ferramentas para identificação de locais mais suscetíveis à erosão, bem como para apontar quais fatores exercem maior influência sobre esta perda (ALBUQUERQUE, 1997; SILVA, 2016).

Dentre esses, a Equação Universal de Perda de Solos (EUPS), proposta por Wischmeier e Smith (1978), é o modelo de maior aplicação no Brasil para estimativa da perda de solo e mostra-se satisfatório na localização geográfica, dentro de uma bacia hidrográfica, das áreas mais vulneráveis ao processo de erosão (BLOISE et al., 2001), indicando os locais que demandam monitoramento e controle dos processos erosivos (NEVES et al., 2011).

A espacialização por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) permite a análise da perda de solo por erosão hídrica, possibilitando contextualizar os resultados em função da cobertura vegetal e uso da terra. Contudo, os valores de perdas não devem ser tomados como dados reais, mas para categorizar qualitativamente as áreas quanto à suscetibilidade à erosão hídrica, evidenciando-se como um importante instrumento nos trabalhos de gestão ambiental (FARINASSO, 2006).

Entender a espacialização da perda de solo da Bacia Hidrográfica do Rio Jauru é essencial devido à influência que ela exerce na Bacia do Alto Paraguai (BAP), onde se insere o bioma Pantanal e sua planície alagável, pois o rio Jauru é um dos principais

Análise Multi-temporal da Perda de Solo por Erosão Hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru-MT, Brasil tributários do rio Paraguai, recebe as águas de todos os demais cursos hídricos da BAP, propiciando o alagamento da planície pantaneira.

Destarte, o presente trabalho tem por objetivo analisar a perda de solo por erosão hídrica por meio da aplicação da Equação Universal de Perda de Solos (EUPS) na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru, em Mato Grosso.

Material e Métodos

Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Jauru (BHRJ), situada na região sudoeste do Mato Grosso, possui 11.697,72 km² de extensão territorial distribuídos em 14 municípios cuja população aproximada é de 340.651 habitantes, sendo que 279.956 vivem em área urbana e 60.695 na rural (IBGE, 2018). A bacia é caracterizada pela presença dos biomas Amazônia, Cerrado e Pantanal (Figura 1).

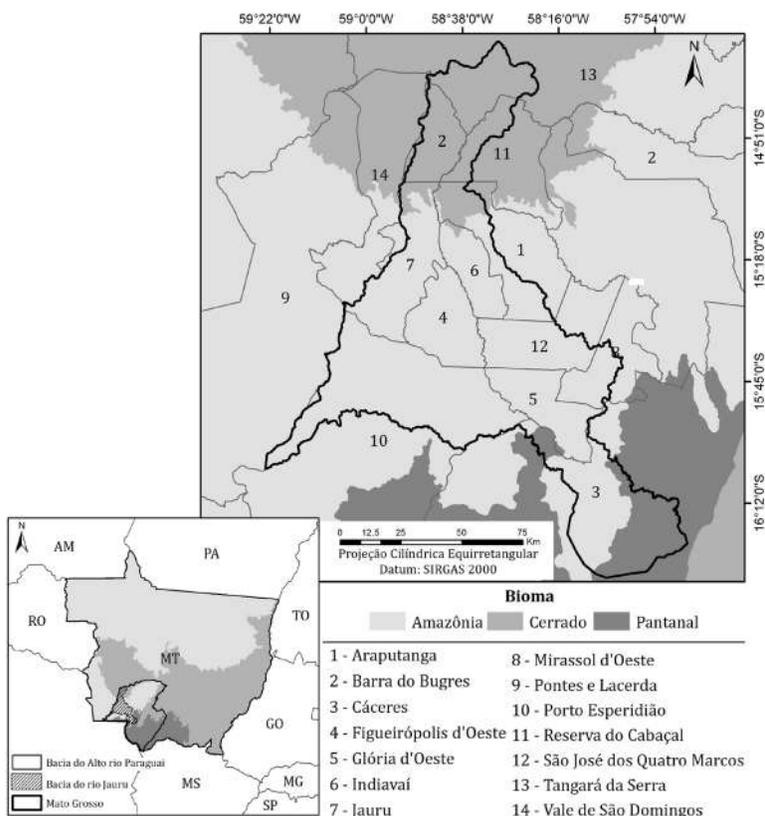


Figura 1 – Bacia Hidrográfica do Rio Jauru nos contextos estadual e político administrativo municipal.

O clima da região é o Tropical Megatérmico Úmido dos Baixos Planaltos e Depressões Jauru-Rio Branco, com temperaturas anuais médias acima de 25°C e totais pluviométricos entre 1600 e 1800 mm (TARIFA, 2011).

A BJRJ apresenta altitudes que variam de 111 a 1017 metros (Figura 2A), sendo que as menores cotas estão localizadas na região sudeste da bacia, onde há a depressão pantaneira. No entanto, os maiores valores altimétricos estão ao norte da bacia na região planáltica.

As formações geológicas Complexo Xingu (30%), Formação Utiariti (18%), Formação Morro cristalino (10%) e Formação Araras (6%) são as que se destacam com maior ocorrência na bacia (MIRANDA; NEVES; RAMOS, 2019) (Figura 2B).

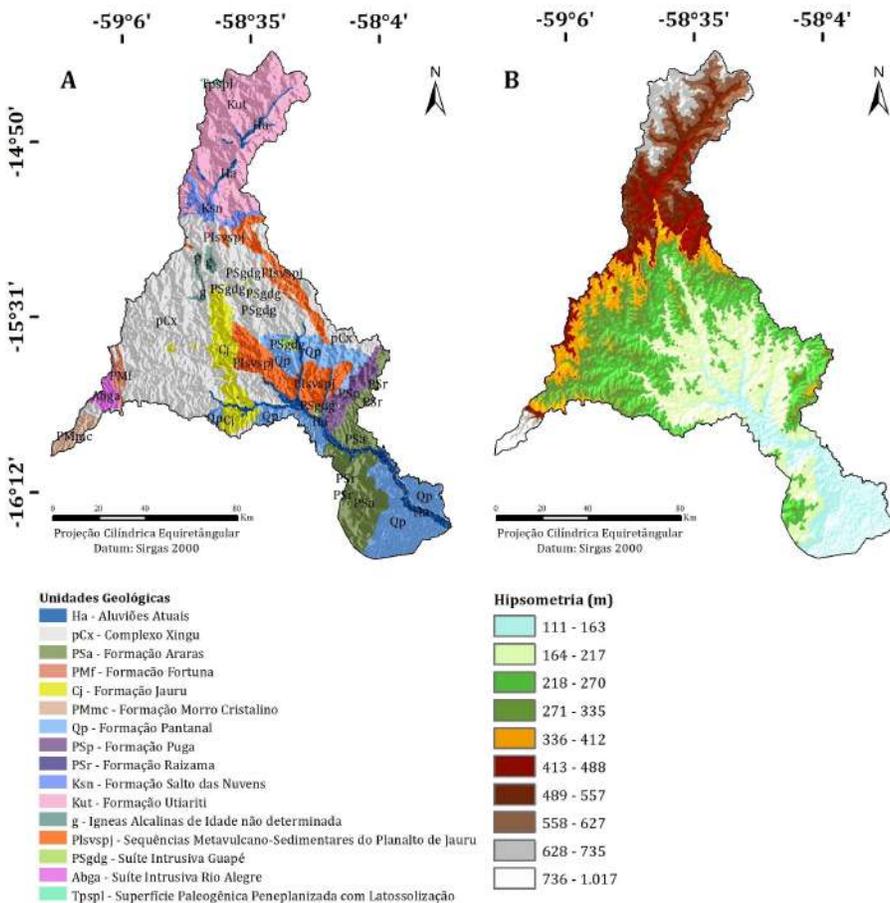


Figura 2 – A – Unidades geológicas da BHRJ; B – Hipsometria da BHRJ.

Procedimentos Metodológicos

Para a execução do presente estudo foi realizado o levantamento de bases cartográficas nos órgãos públicos – Secretaria de Estado de Planejamento (SEPLAN-MT), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e Agência Nacional de Águas (ANA) –, sendo estes compilados, compatibilizados e organizados em Banco de Dados Geográficos (BDG) no programa ArcGis, versão 10.5. (ESRI, 2017).

Na determinação das classes de potencial de perda de solo foi aplicada a Equação Universal de Perda de Solo (EUPS) de Wischmeier e Smith (1978). Esse modelo, de base empírica, integra os fatores do meio físico intervenientes no processo de erosão laminar por meio da fórmula:

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Onde: A = perda de solo em unidade de massa por unidade de área e unidade de tempo ($Mg\ ha^{-1}\ ano^{-1}$); R = fator erosividade da chuva ($Mj\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ ano^{-1}$); K = fator erodibilidade do solo ($Mg\ h\ MJ^{-1}\ mm^{-1}$); LS = fator topográfico (adimensional); C = fator de uso/manejo do solo (adimensional); P = fator práticas conservacionistas (adimensional).

O fator R foi obtido por meio das médias dos valores anuais e mensais de precipitação dos períodos 1976 a 1986; 1987 a 1996; 1997 a 2006; 2007 a 2016 (considerando as datas estabelecidas na determinação dos mapeamentos de cobertura vegetal e uso da terra). As estações pluviométricas utilizadas encontram-se situadas na Bacia do Alto Paraguai que, por sua vez, contém a Bacia Hidrográfica do Rio Jauru (Figura 3), e são: Chapada dos Parecis, Diamantino, Nortelândia, Tangará da Serra, Arenápolis, Tapirapuã, Barra do Bugres, Porto Estrela, Rio Branco, Ponte do Cabaçal, Barranquinho, Destacamento da Corixa, Descalvados, Flexas e Poconé, estando 3 contidas na área de estudo, quais sejam: Alto Jauru (01558004), Porto Esperidião (01558005) e Cáceres (01657003), totalizando dezoito estações, conforme Casarin e Neves (2007); Neves et al. (2011).

O fator R foi calculado pela média dos valores anuais do índice de erosão (EI), calculado conforme Galdino et al. (2015):

$$EI = 68,730(p^2/P)^{0,841}$$

Onde: EI = média mensal do índice de erosão ($Mj\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}$); p = precipitação média mensal (mm); P = precipitação média anual (mm).

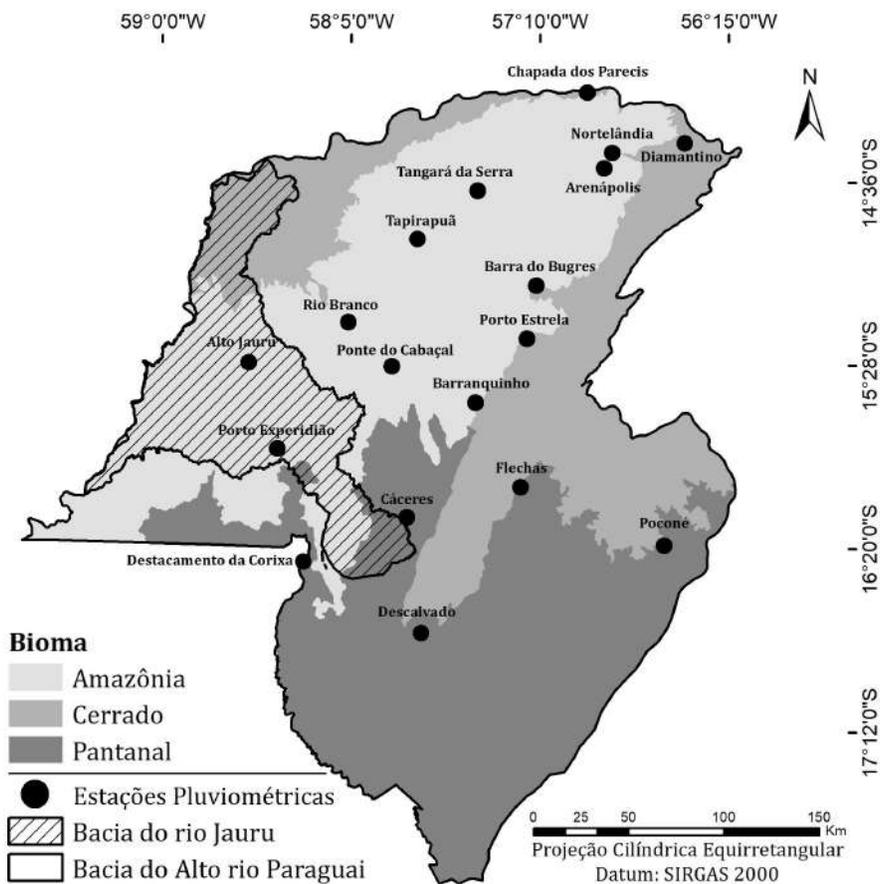


Figura 3 – Localização das estações pluviométricas na Bacia do Alto Paraguai e Bacia do Rio Jauru – MT.

O mapa de fator R foi gerado no programa ArcGis, versão 10.5. (ESRI, 2017), a partir da inserção da planilha eletrônica (formato .dbase), contendo os dados da distribuição espacial das estações (coordenadas Universal Transversa de Mercator – UTM) e seus respectivos valores de erosividade, que foram interpolados via método *Spline*, que estima valores usando uma função matemática que minimiza a curvatura da superfície, resultando em uma superfície suave que passa exatamente pelos pontos de entrada, obtendo como resultado um arquivo matricial de curvas da bacia. Os resultados foram comparados com as classes de erosividade proposta por Carvalho (2008), de acordo com exposto na Tabela 1.

Tabela 1 – Classes de erosividade da chuva (média anual)

Classes de erosividade	Erosividade (MJ mm h⁻¹ha⁻¹ano⁻¹)
Baixa	R < 2.452
Média	2.452 < R < 4.905
Média Forte	4.905 < R < 7.357
Forte	7.357 < R < 9.810
Muito Forte	R > 9.810

Fonte: Carvalho (2008).

O mapa de classes de solo, na escala de 1:250.000, para geração do fator K, que representa o grau de resistência natural do solo a ser desagregado pelas gotas de chuva e transportado por escoamento superficial da água, foi obtido no sítio da Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral de Mato Grosso (SEPLAN-MT). As nomenclaturas das classes foram atualizadas para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SANTOS et al., 2013). Associaram-se para as classes de solos os valores de K, indicados no Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai – PCBAP (BRASIL, 1997).

O mapa de fator topográfico (LS) foi gerado a partir das imagens do radar interferométrico Missão Topográfica Radar Shuttle (SRTM), banda C, com resolução espacial de 30 metros, disponibilizadas gratuitamente no sítio do United States Geological Survey (USGS). Como resultados intermediários foram elaborados os mapas clinográficos (declividade) e de orientação (aspecto), que foram reclassificados e combinados em SIG, originando o mapa de rampas homogêneas, conforme proposto por Fornelos e Neves (2007). O mapa de comprimento de rampa foi gerado utilizando a seguinte fórmula:

$$C = h/\text{sen}\alpha$$

Onde: C é o comprimento de rampa em metros, h é a diferença de altura da rampa em metros e α é a declividade média do polígono em graus.

O mapa do fator LS foi gerado usando o algoritmo proposto por Bertoni e Lombardi Neto (2014) expresso através da equação:

$$LS = 0,00984.C^{0,63}.D^{1,18}$$

Onde: D = grau de declive, em porcentagem; C = comprimento de rampa do terreno (m).

O relevo foi classificado conforme Santos et al. (2013) considerando as seguintes fases: declividade de 0 a 3% – relevo Plano; de 3,1 a 8% – relevo Suave ondulado; 8,1 a 20% – relevo Ondulado; de 20,1 a 45% – relevo Forte ondulado; 45,1 a 75% – relevo Montanhoso; e > 75% – relevo Escarpado.

Para obtenção das classes de cobertura vegetal e uso da terra da área de estudo e seus respectivos valores dos fatores C e P, foram utilizadas as imagens dos satélites Landsat 5 e 8, órbitas/pontos 227/71 e 228-70/71, dos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016, do período seco por apresentar menor cobertura de nuvens.

O georreferenciamento das imagens Landsat 5 foi realizado no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (CÂMARA et al., 1996), utilizando o modo tela-a-tela, sendo que para obtenção de pontos de controle foi utilizada a imagem do satélite Landsat 8 de 2016. Para a geração dos mapas de cobertura vegetal e uso da terra foram realizadas as etapas de mosaico, recorte (máscara da bacia), segmentação, classificação supervisionada e pós-classificação.

Na segmentação foi utilizado o método de crescimento de regiões, adotando para as imagens do Landsat 5 os valores de similaridade 10 e área 8 e para as do Landsat 8 similaridade 100 e área 50, devido à diferença da resolução radiométrica das imagens, 8 e 16 bits, respectivamente.

Na classificação supervisionada foram identificadas vinte classes, definidas com o auxílio dos relatórios do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – PROBIO I (BRASIL, 2007) e do Manual técnico para vegetação e uso da terra (IBGE, 2012). O classificador utilizado foi o *Bhattacharya*, com limiar de aceitação de 99,99%.

A classificação gerada foi exportada no formato *shapefile* para o ArcGis, onde procedeu-se à pós-classificação, com validação realizada por meio de trabalho de campo, realizado em julho de 2017, para verificação da verdade terrestre na bacia em estudo, utilizando o *Global Positioning System* (GPS) para obtenção das coordenadas dos locais visitados e câmera fotográfica para registro das imagens dos locais georreferenciados.

Para elaboração dos mapas do fator CP, os valores constantes no PCBAP (BRASIL, 1997) foram atribuídos para cada classe de cobertura vegetal e uso da terra, dos mapas dos anos de 1986, 1996, 2006 e 2016.

Os mapas de potencial a perda de solo para os anos de 1986, 1996, 2006 e 2016 foram obtidos por meio da integração entre todos os fatores da USLE dos anos de estudo por meio da ferramenta *Raster Calculator*, a classificação foi realizada conforme a metodologia adaptada de Carvalho (2008). Os mapas gerados foram exportados no formato *shapefile*, para que no ArcGis fossem elaborados as quantificações e os layouts dos mapas temporais.

Resultados e Discussão

No tocante aos dados pluviométricos das estações contidas na Bacia Hidrográfica do Rio Juru, durante a série histórica analisada, observou-se que os meses mais chuvosos foram janeiro, fevereiro, março e dezembro (Figura 4).

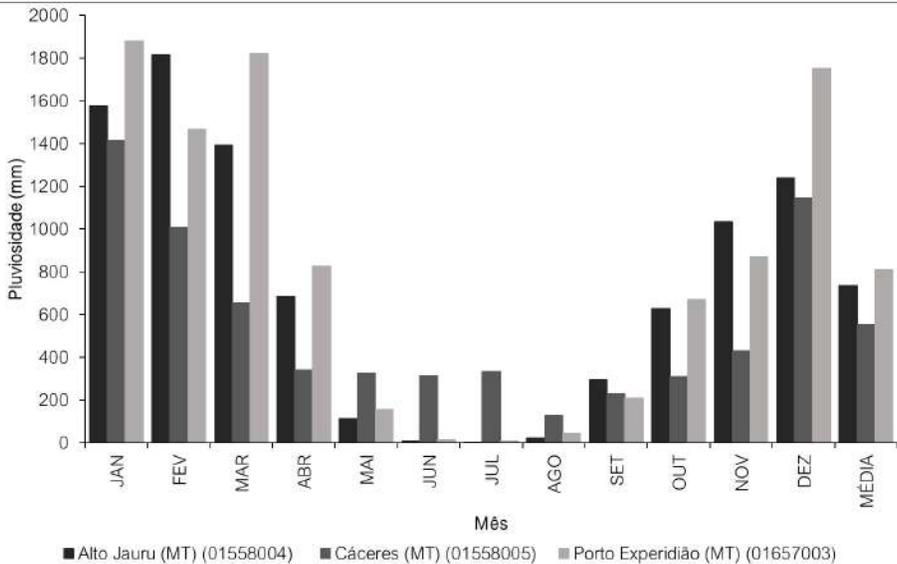


Figura 4 – Pluviosidade mensal e média das estações pluviométricas da BHRJ.

Do ponto de vista sinótico a região da BHRJ está sob a influência da alta pressão do Anticiclone do Atlântico responsável pela estação seca no outono e inverno e da Zona de Convergência Intertropical, principal responsável pela estação chuvosa na primavera e verão. A região é, ainda, diretamente atingida por incursões de fluxos polares quando se deslocam pela rota do interior propiciando, em geral, condições mais chuvosas (CASARIN e NEVES, 2007).

Para todos os períodos de estudo analisados foram identificadas chuvas com alto potencial erosivo na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru no sentido sudeste-norte, ocorrendo de acordo com os altos valores do fator topográfico (LS) que é atribuído às altas declividades presentes nos contornos e escarpas dos Parecis. A pluviosidade, para todos os períodos investigados, oscilou de 1800 a 2100 mm, característica climática proveniente do bioma Amazônia (Figura 5).

Os municípios que apresentaram os maiores valores referentes a erosividade na BHRJ foram: Tangará da Serra e Reserva do Cabaçal no período de 1976 a 1986; Tangará da Serra, Cáceres, Mirassol D'Oeste, Glória D'Oeste e São José dos Quatro Marcos no período de 1987 a 1996; Tangará da Serra no período de 1997 a 2006 e Barra do Bugres, Jauru e Porto Esperidião no período de 2007 a 2016. É possível afirmar que a bacia tem experimentado uma variabilidade climática importante nos últimos anos. Debortoli et al. (2015), observaram tendências de redução significativa da precipitação no bioma Cerrado, parte central da bacia de estudo em questão, no início e fim da estação chuvosa durante 1971-2006. Na região norte da bacia houve um aumento das chuvas em alguns meses da estação chuvosa (janeiro, fevereiro e março – JFM) para o período de 1961-2011.

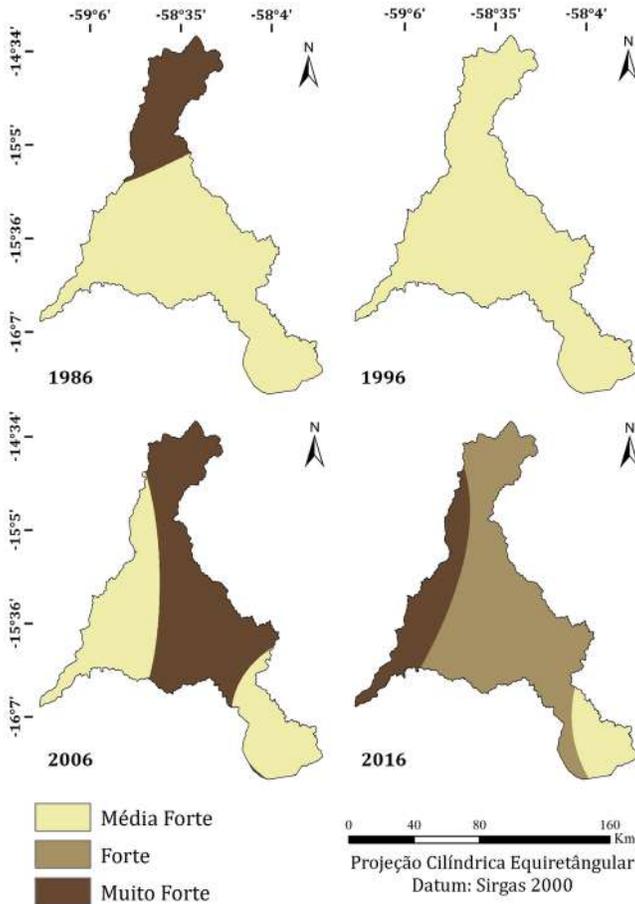


Figura 5 – Distribuição das erosividades médias na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru, nos períodos investigados.

Em relação à erodibilidade (fator K), os valores variaram entre 0,01 e 0,055 $\text{Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, sendo a média encontrada de 0,0358 $\text{Mj mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ ano}^{-1}$. Estudos realizados por Magalhães Filho et al. (2014) afirmam que esses valores se enquadram dentro do esperado para solos brasileiros.

A erodibilidade é influenciada pelas propriedades do solo, bem como a distribuição do tamanho de suas partículas, estabilidade de agregados, conteúdo de matéria orgânica, natureza dos minerais de argila e constituintes químicos (VITTE e MELO 2007). Além desses, consideram-se que os parâmetros do solo que afetam sua estrutura, hidratação e as características da circulação da água atuam diretamente na erodibilidade do solo.

Na área investigada foram mapeadas oito classes de solo (Figura 6A), com predominância de Argissolos Vermelhos, que corresponderam a 39,02%, seguido pelos Argissolos Vermelho–Amarelo, com 26,12%, e de Neossolos Quartzarênicos, com 17,16%.

Os Argissolos de maneira geral apresentam cores vermelho-amareladas devido à presença de óxido de ferro, são bem estruturados e possuem horizonte diagnóstico B textural, proporcionando acúmulo de argila em profundidade devido à mobilização e perda de argila da parte mais superficial do solo (SANTOS et al., 2013). Apresentam fertilidade natural muito variável devido à diversidade de materiais de origem, entretanto na maioria das vezes são necessárias correções quanto à fertilidade (FERRAN, 2004).

Dentre os solos encontrados, os menos erodíveis são os Latossolos, que configuram solos maduros e profundos, isto é, mais intemperizados e profundos. À medida que diminui o grau de maturidade e profundidade, o grau de erodibilidade aumenta, como é o caso dos Neossolos (TOMAZONI e GUIMARÃES 2005; DERMACHI e ZIMBACK, 2014).

Na unidade hidrográfica de estudo foram mapeadas quatro fases do relevo, com predominância de áreas de relevo plano (0 a 3%), que ocorrem em 62,53% da área da bacia, correspondendo, de acordo com Santos et al. (2013), às superfícies de topografia lisa ou horizontal. O relevo Suave ondulado (3 a 8%) ocupa 33,03% da área em estudo, apresenta maior propensão à erosão devido à declividade, indicando maior tendência de escoamento superficial na forma de enxurrada (Figura 6B).

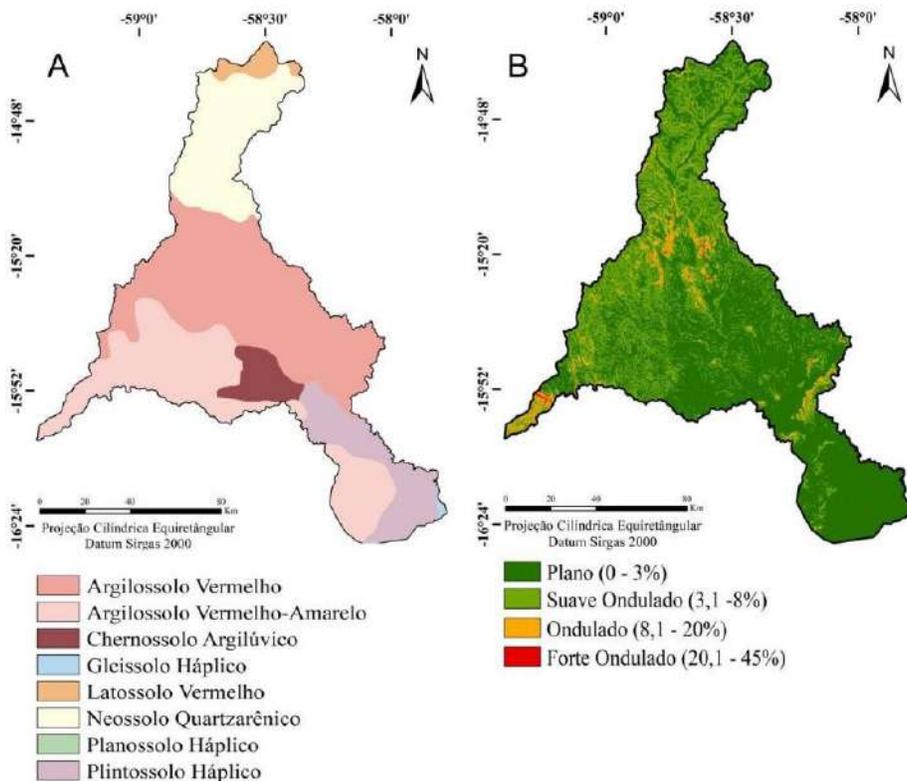


Figura 6 – **A** – Classes de solos da BHRJ; **B** – Fases do relevo da BHRJ.

Embora na bacia não predomine os tipos de relevo Ondulado (8 a 20%) e Forte ondulado (20 a 45%), essas formas exercem influências no processo erosivo em porções específicas da bacia, sendo os principais agentes causadores da erosão nessas áreas. Decorrente do aumento da ocupação na bacia ao longo dos períodos investigados, a vegetação foi gradativamente suprimida e novos usos da terra foram inseridos e/ou ampliados.

Houve predominância da cobertura vegetal natural nos anos de 1986 e 1996, entretanto em 2006 e 2016 as áreas ocupadas pelos usos antrópicos superaram as vegetadas. As classes Savana parque com presença de Savana arborizada, Savana arborizada sem floresta de galeria, Floresta aluvial, Savana parque sem floresta de galeria, Savana arborizada, Floresta decidual submontana, Savana arborizada com presença de Floresta de galeria, foram as que obtiveram menores percentuais de supressão, totalizando 11,36%, 29,04%, 31,68%, 32,03%, 55%, 59,42% e 82,81%, respectivamente. Situação que pode ser atribuída à presença de relevo Forte ondulado, Áreas de Preservação Permanentes, áreas alagáveis, instituição de parques estaduais e presença de solos arenosos, ao norte da bacia, que somados podem dificultar o desenvolvimento das atividades produtivas (Figura 7).

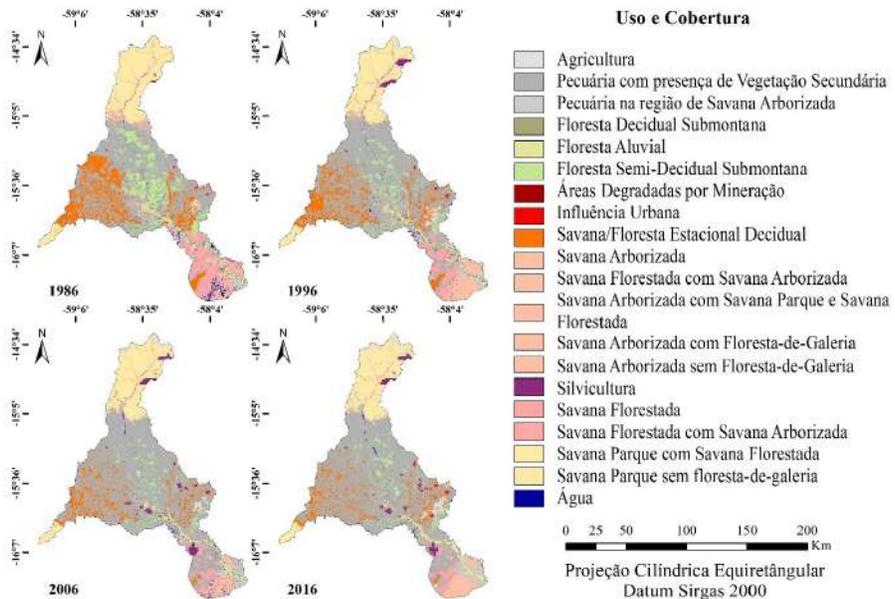


Figura 7 – Uso e cobertura da terra na BHRJ.

De acordo com Brasil (2011), as coberturas nativas das áreas de Savana (Cerrado) são as mais ameaçadas, em função de serem atrativas às atividades agropecuárias. À vista disso, as classes que passaram por maior processo de supressão para a inserção das atividades antrópicas foram: Savana/Floresta Estacional, mapeada como Ecótono, Savana florestada, Floresta semi-decidual submontana, Savana florestada com presença

de Savana arborizada, Savana arborizada com presença de Savana florestada e Savana arborizada com presença de Savana parque e Savana florestada, cuja supressão correspondeu, no período de estudo, à 101,88%, 125%, 141,65%, 336,35%, 367,13% e 633,61%, respectivamente (Tabela 2).

As áreas de formações de Savana são requeridas para desmate, visando a implantação da agropecuária, atividade mais expressiva da região (RAMOS et al., 2016). A manutenção da cobertura vegetal é importante por auxiliar na redução da erosão hídrica, pois intercepta as gotas de chuva que impactam diretamente a superfície do solo (LIMA et al., 2013).

As pastagens, quando manejadas adequadamente, evitam a degradação do solo por serem perenes e oferecerem proteção permanente contra ação erosiva das chuvas (SPAROVEK et al., 2004).

Tabela 2 – Uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Jauru/MT

Classe	Área (km ²)					
	¹ CP	1986	1996	2006	2016	² %
Floresta aluvial	0,00004	377,28	327,23	291,21	286,50	2,45
Floresta semi-decidual submontana	0,00004	976,76	529,00	370,16	404,20	3,46
Floresta decidual submontana	0,00004	5,49	3,50	3,36	3,44	0,03
Savana arborizada	0,0007	2,48	2,20	1,60	1,59	0,01
Savana arborizada sem floresta de galeria	0,005	539,05	525,78	421,73	417,75	3,57
Savana arborizada com floresta de galeria	0,0007	388,34	283,90	212,65	212,43	1,82
Savana arborizada com Savana florestada	0,0003	51,02	30,44	13,01	10,92	0,09
Savana arborizada com Savana parque e Savana florestada	0,0007	24,15	17,51	3,39	3,29	0,03
Savana florestada	0,0003	562,57	401,46	261,40	250,04	2,14

Classe	Área (km ²)					
	¹ CP	1986	1996	2006	2016	² %
Savana florestada com Savana arborizada	0,0003	111,59	74,54	30,16	25,57	0,22
Savana parque sem floresta de galeria	0,01	633,72	595,15	573,16	479,98	4,10
Savana parque com Savana florestada	0,01	1.348,02	1.218,18	1.212,31	1.210,47	10,35
Savana/Floresta estacional decidual	0,0001	1.626,22	1.261,83	832,28	805,53	6,89
Agricultura	0,25	62,39	158,34	165,56	278,30	2,38
Pecuária com presença de vegetação secundária	0,1	4.686,99	5.878,22	6.704,94	6.696,76	57,25
Pecuária na região de savana arborizada	0,1	84,54	147,60	281,50	299,86	2,56
Áreas degradadas por mineração	1	0,00	0,26	1,76	0,16	0,00
Influência urbana	0,03	14,25	21,59	24,03	29,56	0,25
Silvicultura	0,0001	8,30	86,91	174,01	179,83	1,54
Massas d'água	0,0004	194,58	134,09	119,48	101,54	0,87

¹ fator uso e manejo do solo e práticas conservacionistas;

² % percentual correspondente à área da bacia.

Relativo aos usos da terra na bacia, as áreas degradadas por mineração apresentaram aumento nos anos de 1996 e 2006, sendo que em 2016 houve redução em consequência da desativação de algumas áreas de mineração.

Foram encontradas áreas de garimpo, no entanto correspondem a menos de 1% da área da bacia. A atividade garimpeira pode causar potenciais danos ambientais, pois, conforme Silva (2007), o extrativismo altera intensamente a área minerada e as áreas vizinhas, onde são feitos os depósitos de material estéril e de rejeito. Além disso, a presença de substâncias químicas nocivas pode gerar sérios problemas do ponto de vista ambiental.

A Influência urbana em 2016 ocupou 0,25% da área da bacia, correspondendo a um aumento de 50,80% da classe ao longo dos 30 anos estudados. Os municípios que possuem área urbana na bacia são: Glória D'Oeste, Indaiavá, Jauru, Figueirópolis D'Oeste, Mirassol D'Oeste, Pontes e Lacerda e São José dos Quatro Marcos. Essas municipalidades que compõem a microrregião de Jauru foram formadas por pessoas oriundas dos fluxos migratórios, gerados através de programas de incentivo à ocupação, promovidos pelos governos federal e estadual nas terras que até então eram devolutas por volta da década de 60 e intensificaram a partir dos anos 70 do século passado (SOARES et al., 2009).

As áreas de Agricultura cresceram 77,58%, ao longo do período investigado, principalmente nos municípios de Cáceres, Mirassol D'Oeste e Tangará da Serra. De acordo com Faria (2012), as mudanças institucionais no Estado permitiram a evolução acelerada da produção de soja, milho e algodão a partir de 1997, pois o custo de produção foi reduzido, garantindo maior acumulação de capital.

Com isso a produção agrícola mato-grossense inicia um período de rápida absorção de novas terras e de elevação da tecnificação, com aporte de maquinário e agroquímicos. As grandes unidades agropecuárias concentram-se particularmente na região norte da bacia, onde vivem em meio a commodities, principalmente os municípios de Tangará da Serra e Barra do Bugres, contribuindo para o abastecimento do mercado internacional.

A região Sudoeste Mato-grossense de Planejamento, em que se encontra inserida a área de estudo, tem sua economia alicerçada na pecuária, caracterizada pela produção extensiva, apresentando, em sua maioria, boa produtividade e qualidade (MARTINS, 2008). As classes com pecuária aumentaram em 8,38% ao longo dos anos. Segundo Perna et al. (2014) esta atividade expandiu-se com o fim do ciclo do ouro no século XIX na região de Cáceres. Cunha et al. (2008) destacam que a exploração da agropecuária de forma inadequada às condições edafoclimáticas na região gera impactos adversos no meio ambiente, com sérios riscos comprometedores à produção e produtividade futuras.

A Silvicultura na bacia apresentou uma expansão de 95,39% no período de análise, sua implantação, em muitos casos, ocorre devido aos fatores de auto abastecimento, reposição florestal obrigatória, necessidade de fazer investimentos futuros e o reflorestamento da propriedade, em casos de produtores familiares (SABOGAL et al., 2006).

A classe Água decresceu 91,65% ao longo dos anos do estudo, essa redução pode estar associada ao período de aquisição da imagem utilizada para a elaboração do mapeamento ou às copas das árvores da Floresta aluvial situadas às margens dos pequenos cursos d'água, impossibilitando a visualização desta classe na imagem de satélite. As visitas a campo auxiliaram na verificação dessa classe.

A perda média de solo para os anos de 1986, 1996, 2006, 2016 na BHRJ foi estimada em 11,37, 12,76, 14,88, 18,55 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, respectivamente (Tabela 3). Houve predominância de valores inferiores a 50 Mg.ha⁻¹.ano⁻¹ em todos os anos estudados, presente em mais de 80% da área da bacia (Figura 8).

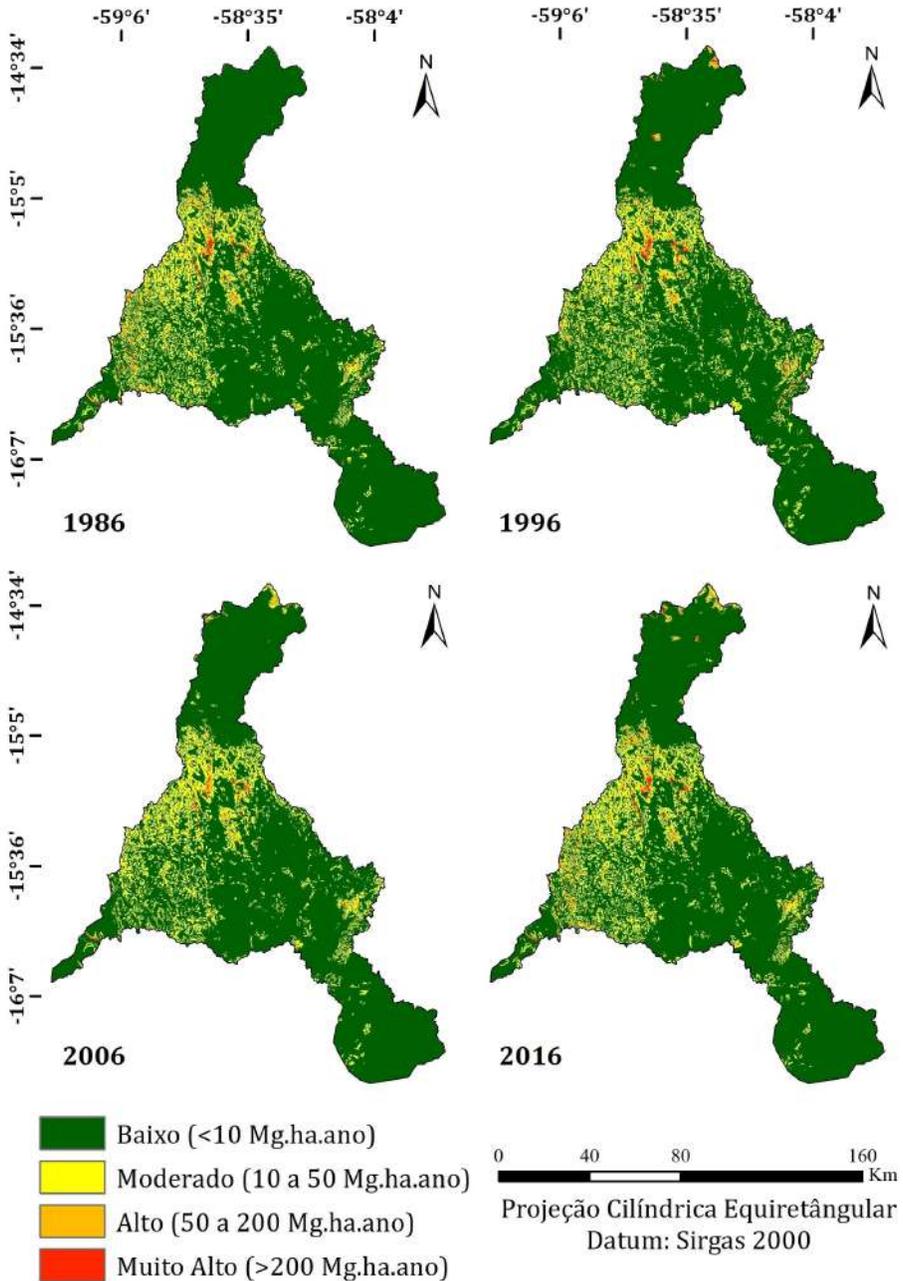


Figura 8 – Espacialização do Potencial a Perda de Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru/MT.

Tabela 3 – Classes de potencial a perda de solo na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru/MT.

Perda de Solo (Mg.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	Classe ¹	Área (km ²)							
		1986	%	1996	%	2006	%	2016	%
<10	B	10106,13	86,47	9484,86	81,13	9688,89	82,88	9530,13	81,52
10 – 50	M	1297,47	11,09	1868,68	15,91	1869,59	15,99	1761,68	15,07
50 – 200	A	246,87	2,11	275,25	2,46	129,57	1,10	350,04	2,99
>200	MA	39,53	0,33	60,98	0,50	1,80	0,03	48,02	0,42

¹B = Baixa; M = Moderada; A = Alta; e MA = Muito Alta

Esse fato pode ser decorrente do relevo de locais onde as perdas anuais de solo variam de baixa a moderada, e ser da classe Plano a Suave ondulado. E em sua maioria providos de cobertura vegetal, que oferece proteção ao solo. A cobertura vegetal é eficaz em reduzir as perdas de solo, principalmente pela proteção da superfície do solo proporcionada pelas copas das plantas, impedindo o impacto direto das gotas de chuva, diminuindo a desagregação do solo (SOUZA e GASPARETTO, 2012; LEITE et al., 2009). Estudos realizados por Graça et al. (2015) ressaltam que a presença de cobertura vegetal revela a existência de equilíbrio na perda de solo, mesmo com alternâncias nos tipos de uso da terra na bacia, ao longo dos anos averiguados, corroborando com os resultados encontrados na BHRJ.

Após o ano de 1986 houve um decréscimo de 5,34% na classe <10 Mg ha⁻¹ ano⁻¹, fato este que pode ser justificado pela supressão da vegetação natural crescente para ampliação da agropecuária, que nesse período aumentou 11,54%. Segundo Rodrigues e Leitão Filho (2001), a destruição da vegetação original para o uso com agricultura torna os solos mais suscetíveis à degradação, ocasionando a lixiviação de nutrientes, alteração de suas propriedades físicas e a contaminação por defensivos agrícolas, contribuindo para aumentar a perda de solo.

As áreas que apresentaram as maiores estimativas de perda de solo estão situadas em Argissolos Vermelhos e Neossolos Quartzarênicos, os quais se enquadram nas classes de maior erodibilidade. Nessas áreas foram implementadas atividades agropecuárias, devido ao insucesso da atividade e a fiscalização de órgãos ambientais essas áreas foram abandonadas (Figura 9).

As áreas de declividades elevadas (entre 20 e 45%) apresentam Argissolos. Essa combinação tornam os solos facilmente erodíveis, principalmente se estiverem desprovidos de cobertura vegetal, em certos períodos do ano, devido à sazonalidade agrícola, ficando expostos à erosividade da chuva.

Pereira et al. (2015) afirmam que áreas desprovidas de vegetação e áreas com declividade elevada apresentam-se como as mais suscetíveis a erosão que, no caso da bacia, ocorrem em áreas dos municípios de Mirassol D'Oeste, Jauru, Indiavaí e Araputanga.

As taxas anuais de perdas de solo por erosão hídrica podem aumentar de acordo com o manejo e as práticas conservacionistas adotadas, sendo assim, essas áreas não podem ser desmatadas, tão pouco sofrer alterações que resultem na diminuição das Áreas de Preservação Permanente (APP), pois, diante disso, as perdas serão de proporções maiores.

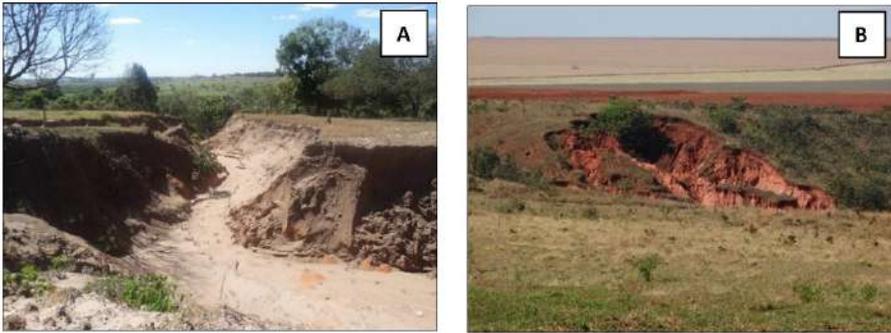


Figura 9 – **A** – Área degradada por processos erosivos em Ravinas em áreas de Neossolos na comunidade de Charbou, município de Jauru – MT; **B** – Erosão em Voçoroca em Argissolos em áreas de agricultura no município de Tangará da Serra – MT.

Houve no período de 1996 a 2006 um decréscimo de 0,47% de potencial a perda de solo na classe de $> 200 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ ano}^{-1}$, resultando em mudanças visíveis na porção noroeste da bacia. Segundo Silva (2016), o aumento do potencial a perda do solo pode comprometer a produtividade da pecuária extensiva, bem como deteriorar áreas de preservação permanente (APPs) dos cursos hídricos, resultando no aumento da sedimentação dos cursos hídricos, cujos impactos são extensivos ao bioma Pantanal. Portanto, é necessário o uso de manejo adequado do solo e/ou adoção de medidas conservacionistas, assim como o monitoramento dessas áreas.

Os valores estimados de perda de solo, apresentados no presente estudo, não devem ser considerados absolutos, pois a espacialização das áreas de perdas indica locais onde podem ser realizadas pesquisas e monitoramento, conforme anteriormente asseverado por Neves et al. (2011).

Conclusões

Predomina na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru baixo potencial a perda de solo devido ao predomínio de relevo plano e à presença de cobertura vegetal, mesmo havendo a dominância das áreas de pastagem, em detrimento das demais classes de vegetação.

As maiores estimativas de perdas de solos são decorrentes da erosão hídrica dos anos de 1996 e 2016, nas áreas de maiores declividades e solos susceptíveis à erosão, próximos aos trechos superiores da rede de drenagem (cabecceiras).

Sugere-se, para estudos futuros, a realização de ensaios laboratoriais com solos presentes na bacia com o intuito de determinar os valores de erodibilidade.

Referências

ALBUQUERQUE, A. W. *Determinação de fatores para a equação universal de perdas de solo nas condições de Sumé-PB*. 1997. 100 f. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. *Conservação do solo*. São Paulo: Ícone, 2014.

BLOISE, G. L. F.; CARVALHO JUNIOR, O. A.; REATTO, A.; GUIMARAES, R. F.; MARTINS, E. S.; CARVALHO, A. P. F. *Avaliação da suscetibilidade natural à erosão dos solos da bacia do Olaria-DF*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Plano de Conservação da Bacia do Alto Paraguai (Pantanal) – PCBAP: análise integrada e prognóstico da Bacia do Alto Paraguai*. Brasília: MMA, 1997.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Projeto PROBIO – Avaliação e ações para a conservação da biodiversidade nos biomas Cerrado e Pantanal, 2004*. Brasília: MMA, 1999.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Monitoramento do desmatamento nos biomas brasileiros por satélite: Acordo de Cooperação Técnica MMA/IBAMA, monitoramento do bioma Cerrado 2009-2010*. Brasília: MMA, 2011.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling. *Computers & Graphics*, v. 20, n. 3, p. 395-403, 1996.

CARVALHO, N. O. *Hidrossedimentologia prática*. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008.

CASARIN, R. ; NEVES, S. M. A. S. As variações pluviométricas na bacia hidrográfica do alto rio Paraguai-BHARP. In: *XII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, 2007, Natal. Natureza, Geotecnologias, Ética e Gestão do Território. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, v. 1, p. 58-58, 2007.

COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perda de solo e água por erosão hídrica influenciadas por métodos de preparo, classes de declive e níveis de fertilidade do solo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v. 27, p. 743-753, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400019>.

CUNHA, N. R. S.; LIMA, J. E.; GOMES, M. F. M.; BRAGA, M. J. A intensidade da exploração agropecuária como indicador da degradação ambiental na região dos Cerrados, Brasil. *Economia e Sociologia Rural*, v. 46, n. 2, p. 291-323, 2008.

CURI, N.; LARACH, J. O. L.; KÄMPF, N.; MONIZ, A. C.; FONTES, L. E. F. *Vocabulário de ciência do solo*. Campinas: SBCS, 1993.

DEBORTOLI, N.S.; DUBREUIL, V.; FUNATSU, B.; DELAHAYE, F.; OLIVEIRA, C.H.; RODRIGUES-FILHO, S.; SAITO, C.H.; FETTER, R. Rainfall patterns in the Southern Amazon: a chronological perspective (1971-2010). *Climatic Change*, v. 132, n. 2, p. 251-264, 2015.

DEMARCHI, J. C.; ZIMBACK, C. R. L. Mapeamento, erodibilidade e tolerância de perda de solo na Sub-bacia do Ribeirão das Perobas. *Energia na Agricultura*, v. 29, n. 2, p. 102-114, 2014.

ESRI. *ArcGis: advanced realease 10. 5*. Redlands/CA: Environmental Systems Research Institute, 2017.

FARIA, A. M. M. Perspectivas para o desenvolvimento de Mato Grosso. In: BNDES (Org.). *Um olhar territorial para o desenvolvimento: Centro-Oeste*. Rio de Janeiro: BNDES, 2014. p. 472-501.

FARINASSO, M.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; RAMOS, V. M. Avaliação qualitativa do potencial de erosão laminar em grandes áreas por meio da EUPS equação universal de perdas de solos utilizando novas metodologias em SIG para os cálculos dos seus fatores na região do Alto Parnaíba PI-MA. *Revista Brasileira Geomorfologia*, v. 7, n. 2, p. 73-85, 2006.

FERRAN, M. *Remediação de um argissolo vermelho distrófico irrigado com efluente amarelo industrial citrícola com o cultivo de Campim-de-Rhodes (Chlorisgayana, Kunth)*. 2004. 65 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo, São Paulo.

FORNELOS, L. F.; NEVES, S. M. A. S. Uso de modelos digitais de elevação (MDE) gerados a partir de imagens de radar interferométricos (SRTM) na estimativa de perdas de solo. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 59, n. 1, p. 25-33, 2007.

GALDINO, S.; GREGO, C. R.; SILVA, J. S. V. Rainfall erosivity in the upper Paraguai river basin, Brazil. *GEOGRAFIA*, v. 40, n. Especial, p. 119-129, 2015.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L.; PRUSKI, F. F.; MARIA, I. C. DE; CASTRO FILHO, C.; LANDERS, J. C. A erosão e seu impacto. p.47-60. In: Manzatto, C. V.; Freitas Júnior, E.;

Análise Multi-temporal da Perda de Solo por Erosão Hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru-MT, Brasil

Peres, J. R. R. (Orgs.). *Uso agrícola dos solos brasileiros*. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2002. 174p.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico – 2010*. 2012. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mt/nova-marilandia/panorama>. Acesso em: 03 mai. 2023.

LIMA, G. C.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; UMMUS, M. E. Avaliação da cobertura vegetal pelo índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN). *Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 8, n. 2, p. 204-214, 2013.

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W. C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas. *Bragantia*, v. 51, n. 2, p. 189-196, 1992.

MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; AYRES, F. M.; ALVES SOBRINHO, T. Integrando SIG e USLE para mapeamento da perda de solo em área de proteção ambiental. *Agrarian*, v. 7, n. 26, p. 552-559, 2014.

MARTINS, P. T. S. Portal Mato Grosso. *Pecuária: criação de gado e ovelhas são destaque 24 no estado*. 2008. Disponível em: <<http://portalmatogrosso.com.br/economia/pecuaria-criacao-de-gado-e-ovelhas-sao-destaque-no-estado/2423>>. Acesso em: 25 de mai. 2017.

MATA, C. L.; CARVALHO JÚNIOR, O. A.; CARVALHO, A. P. F.; GOMES, R. A. T.; MARTINS, E. S.; GUIMARÃES, R. F. Avaliação multitemporal da susceptibilidade erosiva na bacia do rio Uruçuia (MG) por meio da equação universal de perda de solos. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 8, n. 2, p. 57-71, 2007.

MIRANDA, M. R. S.; NEVES, S. M. A. S.; RAMOS, A. W. P. Caracterização das unidades de paisagem da bacia hidrográfica do rio Jauru – Mato Grosso, Brasil. *Caderno de Geografia*, v. 29, n. 58, p. 765-785, 2019.

NEVES, S. M. A. S.; NUNES, M. C. M.; NEVES, R. J.; SOARES, E. R. C. Estimativa da perda de solo por erosão hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru/MT. *Sociedade & Natureza*, v. 23, n. 3, p. 423-434, 2011.

PEREIRA, T. S. R.; SANTOS, K. A.; SILVA, B. F.; FORMIGA, K. T. M. Determinação e espacialização da perda de solo da bacia hidrográfica do córrego Cascavel, Goiás. *Revista Geográfica Acadêmica*, v. 9, n. 2, p. 76-93, 2015.

PERNA, D.; SOARES, A. M. D.; CURVO, R. J. C.; CURVO, L. R. V. Educação ambiental e a química no curso de técnico em agricultura do instituto federal de Mato Grosso – Campus Cáceres – MT (Brasil). *DELÓS*, v. 7, n. 21, p. 1-23, 2014.

RAMOS, A. W. P.; MIRANDA, M. R. S.; SILVA, G. J. O.; NEVES, S. M. A. S.; GALVANIN, E. A. S.; NEVES, R. J. Análise temporal da dinâmica de paisagem das áreas não inundáveis do Pantanal de Cáceres/MT. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 6., Cuiabá, 2016. *Anais eletrônicos* [...]. São José dos Campos/SP: INPE, 2016. p. 661-672. Disponível em: <https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2016/cd/pdf/p94.pdf>. Acesso em: 4 mai. 2020.

RODRIGUES, R. R.; LEITÃO FILHO, H. F. *Matas ciliares: conservação e recuperação*. São Paulo: Edusp, 2001.

SABOGAL, C. *Silvicultura na Amazônia brasileira: avaliação de experiências e recomendações para implementação e melhoria dos sistemas*. Manaus: CIFOR, 2006.

SALOMÃO, F. X. T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010. p. 229-267.

SANTOS, H. G.; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C.; OLIVEIRA, V. A.; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A.; ARAÚJO FILHO, J. C.; OLIVEIRA, J. B.; CUNHA, T. J. F. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2013.

SILVA, C. C.; SILVA, J. D.; FREITAS, L. E.; NEVES, S. M. A. S.; JÚNIOR, S. S. Estimativa de perda de solo por erosão hídrica na bacia do córrego das Piraputangas/MT. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 4, Viçosa/MG, 2017. *Anais eletrônicos* [...]. Viçosa: UFV, 2017. p. 347-349. Acesso em: 8 mai. 2020.

SILVA, H. J. *Análise multitemporal da expectativa da perda de solo e suas implicações na Serra da Mantiqueira*. 2016. 171 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Núcleo de Estudos Ambientais, Planejamento Territorial e Geomática. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá.

SILVA, J. P. S. Impactos ambientais causados por mineração. *Revista acadêmica Espaço da Sophia*, v. 1, n 8, p. 1-13, 2007.

SOARES, J. C. O.; SOUZA, C. A.; PIERANGELI, M. A. Nascentes da sub-bacia hidrográfica do córrego Caeté/MT: estudo do uso, topografia e solo como subsídio para gestão. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 6, n. 1, p. 22-51, 2010.

SOUZA, C. A.; SOUZA, J. B.; ANDRADE, L. N. P. S. Bacia Hidrográfica do Rio Jauru e seus afluentes. *Enciclopédia Biosfera*, v. 10, n. 18, p. 611-635, 2014.

SOUZA, V.; GASPARETTO, N. V. L. Aplicação da Equação Universal de Perdas de Solo (EUPS) na bacia do córrego Pinhalzinho Segundo, noroeste do Paraná. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 13, n. 3, p. 267-278, 2012.

Análise Multi-temporal da Perda de Solo por Erosão Hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Jauru-MT, Brasil

SPAROVEK, G.; CORRECHEL, V.; BARRETTO, A. G. O. P. Solo Coberto. *Cultivar Bovinos*, v. 12, n. 1, p. 20-23, 2004.

TARIFA, J. R. *Mato Grosso: Clima – Análise e representação cartográfica*. Cuiabá: Entrelinhas, 2011.

TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E. A sistematização dos fatores da EUPS em SIG para quantificação da erosão laminar na bacia do rio Jirau. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 57, n. 3, p. 235-244, 2005.

VITTE, A. C.; MELLO, J. P. Considerações sobre a erodibilidade dos solos e a erosividade das chuvas e suas consequências na morfogênese das vertentes: um balanço bibliográfico. *Climatologia e Estudos da Paisagem*, v. 2, n. 2, p. 107-133, 2007.

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

Recebido em 26/09/2022.

Aceito em: 26/04/2023.