

AVALIAÇÃO DA EROSIVIDADE ENTRE ANOS-PADRÃO HABITUAL E EXCEPCIONAL: INSUMO PARA O DIAGNÓSTICO DO APORTE DE SEDIMENTOS PARA OS RESERVATÓRIOS DAS USINAS HIDRELÉTRICAS BATALHA E ITUMBIARA (BRASIL)

EVALUATION OF EROSIVITY BETWEEN USUAL AND EXCEPTIONAL STANDARD YEARS: INPUT FOR THE DIAGNOSIS OF SEDIMENT INPUT TO THE RESERVOIRS OF THE BATALHA AND ITUMBIARA HYDROELECTRIC POWER PLANTS (BRAZIL)

EVALUACIÓN DE LA EROSIVIDAD ENTRE AÑOS ESTÁNDAR HABITUALES Y EXCEPCIONALES: INSUMO PARA EL DIAGNÓSTICO DE APORTE DE SEDIMENTOS A LOS EMBALSES DE LAS USINAS HIDROELÉCTRICAS DE BATALHA E ITUMBIARA (BRASIL)

Quezia Santos Costa¹

Diego Tarley Ferreira Nascimento²

Marta Pereira da Luz³

RESUMO: No presente trabalho tem-se como objetivo principal avaliar a variação da erosividade das chuvas entre anos-padrão do regime habitual e excepcional (seco e chuvoso), no intuito de prover insumos analíticos para o diagnóstico da dinâmica de geração e aporte de sedimentos para reservatórios de Usinas Hidrelétricas (UHE). Foram adquiridos dados mensais de precipitação registrados pelas estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizadas em Catalão-GO e de Unaí-MG, para estudo de caso das UHEs Itumbiara e Batalha, respectivamente, contemplando a série temporal de 1990 a 2021 (32 anos). Em seguida, foi calculado o Índice de Erosividade, mensal e anual. Os resultados demonstraram que o período chuvoso representa os maiores índices de erosividade mensal, da mesma forma que anos classificados como chuvosos e muito chuvosos representam os

1 Graduada em Ciências Ambientais e bolsista do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC), Universidade Federal de Goiás (UFG). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5810-9370>. E-mail: queziaquimica1999@gmail.com

2 Doutor em Geografia, Professor Adjunto do Instituto de Estudos Socioambientais da Universidade Federal de Goiás (IESA/UFG) e Professor Credenciado no Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Goiás – Campus Cora Coralina (PPGEO/UEG). ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0420-3636>. E-mail: diego_nascimento@ufg.br

3 Doutora em Ciências Ambientais, Engenheira da Eletrobras Furnas, Professora Adjunta da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) e Professora Colaboradora no Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Engenharia de Produção e Sistemas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás (MEPROS-PUC-GO). ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5406-3299>. E-mails: marta.eng@pucgoias.edu.br e martaluz@furnas.com.br

Agradecimentos: Os autores agradecem à Furnas Centrais Elétricas S.A. e a Agência Nacional de Energia Elétrica pelo apoio cedido no contexto do Projeto “Modelagem em Diversas Escalas da Geração de Sedimentos em Erosões e o Aporte em Reservatórios de UHEs”, P&D ANEEL Sedimentos, código ANEEL PD.0394-1705/2017. De mesma forma, os autores também agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de iniciação científica à primeira autora e de produtividade em pesquisa ao segundo autor e à terceira autora do trabalho.

Artigo recebido em abril de 2023 e aceito para publicação em maio de 2023.

maiores índices de erosividade anual. Dessa forma, sugere-se monitoramentos que levem em consideração o regime e a variabilidade das chuvas.

Palavras-chave: Erosividade. Chuvas. Sedimentos.

ABSTRACT: The main objective of the present work is to evaluate the variation of rainfall erosivity between standard years of the usual and exceptional regime (dry and rainy), in order to provide analytical inputs for the diagnosis of the dynamics of generation and contribution of sediments to reservoirs. of Hydroelectric Power Plants (UHE). Monthly precipitation data recorded by the automatic stations of the Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) located in Catalão-GO and Unaí-MG, for a case study of the Itumbiara and Batalha HPPs, respectively, covering the time series from 1990 to 2021 (32 years). Then, the monthly and annual Erosivity Index was calculated. The results showed that the rainy season represents the highest monthly erosivity indices, in the same way that years classified as rainy and very rainy represent the highest annual erosivity indices. Thus, monitoring is suggested that takes into account the rainfall regime and variability.

Keywords: Erosivity. Rains. Sediments.

RESUMEN: El objetivo principal del presente trabajo es evaluar la variación de la erosividad pluvial entre años estándar del régimen habitual y excepcional (seco y lluvioso), con el fin de brindar insumos analíticos para el diagnóstico de la dinámica de generación y aporte de sedimentos a los embalses. de Centrales Hidroeléctricas (UHE). Foram adquiridos dados mensais de precipitação registrados pelas estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) localizadas em Catalão-GO e de Unaí-MG, para estudo de caso das UHEs Itumbiara e Batalha, respectivamente, contemplando a série temporal de 1990 a 2021 (32 años). Luego, se calculó el Índice de Erosividad mensual y anual. Los resultados mostraron que la época lluviosa presenta los mayores índices de erosividad mensual, de la misma forma que los años clasificados como lluviosos y muy lluviosos representan los mayores índices de erosividad anual. Por lo tanto, se sugiere un monitoreo que tenga en cuenta el régimen y la variabilidad de las lluvias.

Palabras clave: Erosividad. Lluvias. Sedimentos.

INTRODUÇÃO

O fenômeno da erosão hídrica pode ser entendido como um processo natural de desagregação e transporte de materiais terrosos ou rochosos, pela ação dos rios ou das chuvas (PASTORE, 1986; VILAR; PRANDI, 1993; MARÇAL, 1998). O processo erosivo de origem hídrica tem início com atuação da gota de água da chuva sobre a superfície do terreno (efeito *splash*) e o correspondente escoamento superficial, difuso ou concentrado, resultando na desagregação e no transporte de partículas do solo.

Em que se pese a influência de outros aspectos dos terrenos, especialmente relacionados às: 1) propriedades dos solos em relação à maior ou menor resistência à desagregação; 2) às condições do relevo em intensificar e acelerar o escoamento superficial difuso ou concentrado e 3) características de proteção da cobertura do solo decorrente da presença de vegetação ou do manejo do solo perante usos antrópicos, chama-se atenção para interface clima-solo, em associação à intensidade, duração e frequência das precipitações e da energia produzida pelo impacto das gotas da chuva na deflagração do processo erosivo.

Dessa forma, apresenta-se o presente trabalho, associado a contexto de um projeto de pesquisa e desenvolvimento tecnológico sob o financiamento da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), com coordenação técnica de Furnas Centrais Elétricas S.A., intitulado “Modelagem em Diversas Escalas da Geração de Sedimentos em Erosões e o Aporte em Reservatórios de UHEs”, que visa desenvolver tecnologias e metodologias para compreensão dos processos de geração, aporte e consolidação de sedimentos em reservatórios de usinas hidrelétricas, fornecendo medidas de mitigação e estratégias de melhoria da capacidade geradora e da vida útil dos empreendimentos. No caso do trabalho ora apresentado, pretende-se focar a análise à condicionante climática, especialmente relacionada à erosividade (das chuvas).

A avaliação da erosividade não é recente na literatura, tendo sido proposta em 1978 (WISCHMEIER; SMITH, 1978) a partir de um índice de erosividade (EI 30) calculado a partir da energia cinética liberada pelo impacto das gotas das chuvas em eventos de intensidade máxima de chuva em períodos de 30 minutos.

Contudo, por conta da dificuldade de obtenção de registros pluviográficos no Brasil e inadequação dessa estimativa para regiões tropicais (MARQUES; ALVARENGA; CURI, 1998), são consagrados métodos indiretos de cálculo da erosividade baseados em modelos de regressão. Tais métodos indiretos fazem uso de registros mensais e anuais de chuvas, sendo usualmente denominados como coeficiente de chuva (Cc), tendo sido proposto inicialmente na década de 1960 (FOURNIER, 1960), com a denominação de Índice de Fournier, e adaptado na década de 1990 (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992), quando passou a ser usualmente representado como Índice de Erosividade (EI).

O Índice de Erosividade tem sido empregado para diversas localidades do território brasileiro (BERTOL, 1993, 1994; ALMEIDA et al., 2012; BAZZANO; ELTZ; CASSOL, 2010; COLODRO et al., 2002; SILVA; DIAS, 2003; MELLO et al., 2007.), e também para localidades estado de Goiás (SILVA et al., 1997) ou para todo o seu território (NASCIMENTO, 2016).

Todavia, convém frisar que, para assegurar melhor exatidão do EI, são “aplicados diferentes coeficientes de ajustes, conforme as condições climáticas de cada localidade, principalmente referente à média pluviométrica anual e à latitude” (NASCIMENTO; ROMÃO; SALES, 2018, p.102). Dessa forma, para cálculo e avaliação da erosividade, deve ser empregada a equação que melhor se adeque à(s) localidade(s) em estudo, conforme apresentado na literatura (OLIVEIRA; WENDLAND; NEARING, 2012).

OBJETIVO

No presente trabalho pretende-se contribuir com a modelagem da suscetibilidade erosiva hídrica, a partir da avaliação da erosividade das chuvas, tendo como escopo a especificidade dos reservatórios de usinas hidrelétricas. Por serem selecionadas no projeto do qual deriva o presente trabalho, serão consideradas como áreas em estudos as UHEs Batalha e Itumbiara, sendo que a primeira possui um porte médio e menor tempo de operação, enquanto a segunda representa uma grande bacia hidrográfica e quatro décadas de operação, o que permitirá diferentes níveis de comparação e aplicação à Furnas Centrais Elétricas S.A.

Dessa forma, o objetivo principal é avaliar a variação da erosividade das chuvas entre anos-padrão do regime habitual e excepcional (seco e chuvoso), no intuito de prover insumos analíticos para o diagnóstico da dinâmica de geração e aporte de sedimentos para reservatórios de Usinas Hidrelétricas (UHE).

METODOLOGIA

A metodologia consistiu primeiramente em um levantamento e análise bibliográfica, tendo como foco os fundamentos teóricos e os procedimentos metodológicos para compreensão, cálculo e avaliação da erosividade. Em segundo momento, foi feita a aquisição de dados secundários de precipitação e organização dos mesmos em planilhas de Excel. Por fim, foram realizados o cálculo, a representação e análise do índice de erosividade.

Por se tratarem de duas áreas em estudo, a saber: a UHE Batalha e Itumbiara, ambas à sudoeste de Goiás, na divisa com Minas Gerais; foram utilizados os dados mensais de precipitação registrados por duas estações meteorológicas convencionais administradas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizadas no entorno dos reservatórios, sendo as de Catalão-GO (próxima à UHE Itumbiara) e Unaí-MG (próxima à UHE Batalha). Os dados contemplaram uma série temporal comum, de 1990 a 2021 (32 anos).

O índice de erosividade (EI) foi calculado a partir da equação que se baseia em um modelo de regressão entre o coeficiente de chuva (Cc) e o índice médio mensal de erosão (EI30) (LOMBARDI NETO; MOLDENHAUER, 1992.), descrito na Equação 1 a seguir:

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

onde:

EI - índice de erosividade média mensal, dado em MJ mm.ha⁻¹.mês⁻¹;

p - precipitação média mensal, em mm;

P - precipitação média anual, em mm.

Por fim, os valores mensais e anuais de precipitação e os índices de erosividade foram representados por meio de gráficos para retratar a variabilidade temporal destes atributos, para cada uma das localidades estudadas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para Catalão-GO (Figura 1), a condição habitual pode ser exemplificada pelo registro de precipitação anual de 1.360 mm, no ano de 2021, com um período de estiagem de 5 meses. O valor máximo de precipitação anual foi de 1.676 mm, registrado em 2011, ano classificado como muito chuvoso, seguido pelo volume de 1.660,1 mm, registrado em 2020. Por sua vez, os menores valores foram de 998,3 e 1.161,1 mm, verificado em 2019 e 1990, respectivamente. Nestes anos classificados como muito seco, observa-se período de estiagem prolongado, para seis meses (conforme constatado em 1990) ou baixos volumes nos meses característicos do período chuvoso (verificado em 2019).

Ao serem considerados os valores anuais de erosividade (Figura 2), os maiores foram registrados justamente nos anos-padrão classificados como muito chuvosos, sendo 2011, com erosividade de 10.755,5 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹, e 2020, com 11.854,8 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹. Por sua vez, os menores valores corresponderam aos anos-padrão classificados como muito secos, conforme visto em 2020, com apenas 6.158,1 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹, e em 1990, com 6.328,8 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹.

Para Unaí-MG (Figura 3), a condição do habitual pode ser exemplificada pelo ano de 2010, quando registrou-se acumulado anual de 1.198mm, com um período de estiagem de 5 meses. O valor máximo de precipitação anual foi 2.094 mm, registrado em 1991, classificado como muito chuvoso, seguido pelo registro de 1.795,7 mm, em 2005. Nestes anos podem ser constatados volumes elevados de precipitação mensal, conforme visto em março e novembro de 1991 e em fevereiro e novembro de 2005.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	Anos-padrão
1990	152,6	198,8	115,1	60,1	37,8	-	24,3	8,9	41,3	173,6	178,6	170,0	1.161,1	Muito Seco
1991	291,9	137,8	336,1	67,3	30,5	-	-	-	33,5	157,1	239,3	300,1	1.593,6	Chuvoso
1992	267,8	209,1	130,4	88,6	7,7	-	-	10,0	58,7	167,9	283,7	155,1	1.379,0	Habitual
1993	107,1	324,5	111,4	93,8	21,8	54,7	-	40,1	40,8	62,1	105,6	290,0	1.251,9	Seco
1994	347,5	72,1	292,6	29,0	37,2	5,3	1,3	-	-	161,3	167,9	315,6	1.429,8	Habitual
1995	174,6	396,9	181,5	31,6	111,8	0,3	-	-	23,2	120,5	101,9	230,3	1.372,6	Habitual
1996	242,2	141,0	207,0	96,9	9,4	0,9	-	16,9	54,4	51,9	186,9	429,0	1.436,5	Habitual
1997	361,2	139,8	256,1	68,4	31,2	50,6	-	-	47,4	121,7	173,5	260,8	1.510,7	Chuvoso
1998	174,0	230,3	129,4	62,2	108,3	-	-	24,7	10,0	119,1	169,1	178,2	1.205,3	Seco
1999	224,3	159,9	435,0	28,1	1,3	3,0	-	-	40,4	26,4	205,5	240,1	1.364,0	Habitual
2000	317,9	339,2	216,8	67,1	-	-	16,7	20,8	119,8	50,9	244,8	167,7	1.561,7	Chuvoso
2001	262,7	54,1	317,6	40,8	38,7	-	-	6,0	61,9	108,1	231,1	275,8	1.396,8	Habitual
2002	230,4	351,6	168,9	48,7	42,5	3,6	1,0	22,1	27,1	41,2	44,8	299,6	1.281,5	Seco
2003	427,4	142,3	181,6	80,4	8,1	-	-	0,5	57,9	89,7	164,9	212,3	1.365,1	Habitual
2004	219,5	515,5	158,0	133,7	4,8	-	20,4	0,2	2,0	52,7	153,2	220,1	1.480,1	Habitual
2005	336,4	104,4	289,8	22,9	15,1	16,3	-	16,1	47,4	75,1	226,6	315,7	1.466,8	Habitual
2006	197,9	108,5	297,5	243,1	16,9	0,7	0,2	9,4	20,0	162,0	133,2	254,9	1.444,3	Habitual
2007	563,0	259,1	43,7	76,7	4,1	-	12,9	-	-	73,3	121,5	245,5	1.399,8	Habitual
2008	253,8	377,6	308,4	111,7	11,8	-	-	-	32,0	67,9	132,7	336,7	1.632,6	Chuvoso
2009	365,6	214,2	120,9	42,8	81,5	43,4	3,9	54,7	80,4	185,1	148,6	232,7	1.573,8	Chuvoso
2010	265,9	190,6	209,5	48,5	0,5	14,8	-	-	25,2	92,6	255,2	246,5	1.349,3	Habitual
2011	273,3	123,7	487,7	159,4	-	16,2	-	-	-	137,2	132,9	346,1	1.676,5	Muito Chuvoso
2012	343,8	110,8	160,7	59,9	23,8	75,1	5,8	-	27,7	58,3	290,1	96,3	1.252,3	Seco
2013	258,9	79,7	293,3	126,7	38,6	12,4	-	-	23,8	97,2	132,9	392,4	1.455,9	Habitual
2014	182,7	189,5	108,3	81,4	4,0	0,7	52,5	-	43,5	12,4	269,5	280,5	1.225,0	Seco
2015	98,6	236,1	209,6	88,0	79,9	26,4	6,5	-	83,8	114,9	207,5	164,4	1.315,7	Habitual
2016	327,7	363,0	148,0	6,8	11,4	11,4	-	4,5	19,6	66,9	154,3	179,8	1.293,4	Seco
2017	282,2	173,0	174,3	45,9	49,2	-	-	-	6,1	145,9	377,9	138,2	1.392,7	Habitual
2018	197,8	149,9	76,2	151,7	22,4	-	-	27,8	83,1	163,0	348,7	270,0	1.490,6	Chuvoso
2019	49,0	187,7	173,3	100,5	27,4	-	-	-	22,2	115,4	111,3	211,5	998,3	Muito Seco
2020	514,0	456,1	165,0	26,1	14,7	-	-	-	8,2	92,9	142,3	240,8	1.660,1	Muito Chuvoso
2021	312,3	248,8	101,0	73,0	1,0	0,4	-	-	10,1	164,7	249,9	199,5	1.360,7	Habitual

Fonte: INMET. Organizado pelos autores.

Figura 1. Valores mensais e anuais de precipitação para Catalão-GO (1990 a 2021).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	Anos-padrão
1990	855,7	1335,1	532,5	178,5	81,8	0,0	38,9	7,2	95,0	1063,0	1115,0	1026,1	6.328,8	Muito Seco
1991	1952,0	552,3	2474,4	165,4	43,7	0,0	0,0	0,0	51,2	688,5	1397,4	2045,1	9.369,9	Chuvoso
1992	1907,0	1257,8	568,4	296,7	4,9	0,0	0,0	7,6	148,5	869,6	2101,3	761,0	7.922,7	Habitual
1993	442,8	2857,3	473,1	354,3	30,4	143,0	0,0	84,8	87,3	177,0	432,4	2365,1	7.447,6	Seco
1994	2867,1	203,5	2147,0	44,0	66,9	2,5	0,2	0,0	0,0	788,5	843,5	2438,4	9.401,7	Habitual
1995	932,4	3710,7	995,2	52,6	440,5	0,0	0,0	0,0	31,3	499,7	376,9	1485,4	8.524,6	Habitual
1996	1556,1	626,4	1194,9	333,3	6,6	0,1	0,0	17,7	126,2	116,6	1006,2	4070,5	9.054,6	Habitual
1997	2921,4	591,8	1638,3	177,8	47,5	107,1	0,0	0,0	96,0	468,7	851,1	1689,2	8.589,0	Chuvoso
1998	1034,1	1657,0	628,4	183,3	465,8	0,0	0,0	38,8	8,5	546,5	985,6	1076,4	6.624,3	Seco
1999	1428,4	808,4	4352,2	43,4	0,2	1,0	0,0	0,0	79,9	39,1	1232,9	1601,7	9.587,3	Habitual
2000	2291,8	2556,0	1203,9	167,4	0,0	0,0	16,1	23,4	443,9	105,2	1476,8	781,6	9.066,1	Chuvoso
2001	1826,5	128,0	2513,3	79,7	72,9	0,0	0,0	3,2	160,6	410,2	1472,3	1982,3	8.649,0	Habitual
2002	1574,9	3206,3	934,2	115,3	91,7	1,4	0,2	30,5	43,0	87,1	100,2	2449,6	8.634,6	Seco
2003	4222,2	664,0	1000,7	254,2	5,4	0,0	0,0	0,0	146,3	305,5	850,8	1301,4	8.750,5	Habitual
2004	1286,0	5406,3	739,7	558,6	2,1	0,0	23,6	0,0	0,5	116,7	702,3	1291,9	10.127,6	Habitual
2005	2658,6	371,5	2068,8	29,0	14,4	16,3	0,0	16,0	98,4	213,5	1367,8	2389,2	9.243,5	Habitual
2006	1102,8	401,3	2189,2	1558,7	17,6	0,1	0,0	6,6	23,3	787,6	566,6	1688,1	8.341,8	Habitual
2007	6571,4	1781,4	89,2	229,9	1,7	0,0	11,5	0,0	0,0	213,0	498,4	1626,9	11.023,4	Habitual
2008	1511,7	2949,1	2098,0	380,1	8,7	0,0	0,0	0,0	46,4	164,6	507,9	2431,9	10.098,3	Chuvoso
2009	2880,6	1172,1	447,9	78,1	230,7	79,9	1,4	118,0	225,5	916,8	633,6	1347,3	8.132,0	Chuvoso
2010	1919,1	1096,2	1285,2	109,7	0,0	14,9	0,0	0,0	36,5	325,5	1791,0	1689,5	8.267,6	Habitual
2011	1674,4	441,4	4435,0	676,1	0,0	14,4	0,0	0,0	0,0	525,4	498,0	2490,9	10.755,5	Muito Chuvoso
2012	3148,0	468,7	876,0	166,6	35,3	243,7	3,3	0,0	45,5	159,2	2365,8	370,2	7.882,2	Seco
2013	1721,2	237,2	2123,1	517,4	70,1	10,4	0,0	0,0	31,1	331,3	560,7	3464,2	9.066,7	Habitual
2014	1107,3	1177,5	459,5	284,2	1,8	0,1	135,9	0,0	99,1	12,0	2129,2	2277,4	7.684,1	Seco
2015	369,5	1605,0	1313,8	305,2	259,4	40,3	3,8	0,0	281,1	478,0	1291,7	873,1	6.820,9	Habitual
2016	2826,2	3356,9	742,3	4,2	10,0	10,0	0,0	2,1	24,8	195,2	796,2	1029,8	8.997,5	Seco
2017	2065,4	906,9	918,4	97,3	109,4	0,0	0,0	0,0	3,3	680,9	3375,3	621,6	8.778,5	Habitual
2018	1073,0	673,1	215,7	686,7	27,5	0,0	0,0	39,6	249,5	774,9	2784,5	1810,9	8.335,4	Chuvoso
2019	143,8	1376,4	1203,4	481,3	54,1	0,0	0,0	0,0	38,0	607,3	571,4	1682,4	6.158,1	Muito Seco
2020	4884,9	3995,3	722,5	32,5	12,4	0,0	0,0	0,0	4,6	274,9	563,3	1364,5	11.854,8	Muito Chuvoso
2021	2497,6	1704,0	374,0	216,7	0,2	0,0	0,0	0,0	7,8	851,4	1716,7	1175,3	8.543,7	Habitual

Fonte: INMET. Organizado pelos autores.

Figura 2. Valores mensais e anuais de erosividade para Catalão-GO (1990 a 2021).

Os anos de 1998 e 2021 são indicativos da condição de muito seco em Unaí-GO, quando foram registrados volumes anuais de apenas 960 e 600,2 mm, respectivamente. Enquanto que no primeiro ano essa condição pode ser justificada pela maior duração do

período de estiagem, o segundo ano deve ser desconsiderado da análise por conta da falta de registro de dados mensais de precipitação entre agosto e dezembro.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	Anos-padrão
1990	167,9	126,0	58,4	74,3	53,9	-	48,9	42,0	29,9	114,4	169,6	81,3	966,6	Seco
1991	243,2	268,2	560,3	165,2	8,2	-	-	-	38,0	96,9	448,3	266,2	2.094,5	Muito Chuvoso
1992	431,8	264,4	133,4	197,4	-	-	-	17,8	95,0	76,5	270,0	291,8	1.778,1	Chuvoso
1993	138,9	234,7	-	119,8	15,8	32,6	-	24,3	23,3	62,3	157,0	378,1	1.186,8	Habitual
1994	328,0	124,0	298,8	39,4	3,2	40,4	-	-	-	76,6	178,9	206,3	1.295,6	Habitual
1995	134,8	212,9	192,1	80,7	50,2	-	-	-	-	154,5	279,8	371,9	1.476,9	Chuvoso
1996	161,7	56,4	163,0	149,6	82,9	-	-	8,9	15,2	150,0	264,0	212,2	1.263,9	Habitual
1997	267,1	81,7	272,6	126,2	47,1	61,7	-	-	13,3	110,2	200,5	207,9	1.388,3	Habitual
1998	197,6	69,6	29,2	34,8	12,4	-	-	4,0	-	92,3	352,4	167,8	960,1	Muito Seco
1999	127,5	100,7	214,0	20,3	5,0	-	2,7	-	28,4	133,6	121,9	325,3	1.079,4	Seco
2000	180,1	260,5	346,8	10,4	-	-	5,1	30,3	30,7	68,4	322,4	137,6	1.392,3	Habitual
2001	42,8	75,1	139,6	2,5	79,9	-	5,2	48,8	27,5	147,7	402,9	147,7	1.119,7	Habitual
2002	130,6	251,4	240,6	11,5	9,0	-	1,2	-	23,1	26,8	164,1	277,7	1.136,0	Habitual
2003	270,4	191,7	237,7	60,6	47,5	-	-	23,1	14,9	40,4	185,4	191,8	1.263,5	Habitual
2004	322,4	411,4	190,9	98,8	0,2	0,1	-	-	-	96,2	174,1	240,9	1.535,0	Chuvoso
2005	160,7	432,2	282,8	35,9	1,2	-	-	39,8	28,2	17,2	461,4	336,3	1.795,7	Muito Chuvoso
2006	111,5	123,4	268,2	153,2	4,2	-	-	8,5	54,0	158,8	241,0	321,7	1.444,5	Chuvoso
2007	348,5	327,6	28,5	48,1	4,9	-	3,8	-	-	60,2	63,8	218,6	1.104,0	Habitual
2008	277,9	151,5	201,0	107,6	-	-	-	-	57,8	4,2	263,2	219,5	1.282,7	Habitual
2009	242,0	206,8	47,7	145,9	17,0	3,8	-	19,4	69,0	274,5	132,8	278,6	1.437,5	Habitual
2010	146,9	48,9	233,4	77,5	20,2	0,6	-	-	12,8	183,6	202,3	272,1	1.198,3	Habitual
2011	187,3	61,1	469,0	59,0	2,6	-	-	-	-	135,6	182,3	328,8	1.425,7	Habitual
2012	194,0	186,7	91,4	22,0	13,4	0,2	-	-	19,0	29,4	381,1	108,2	1.045,4	Seco
2013	287,9	73,4	181,7	78,5	21,2	51,6	-	-	67,6	139,3	151,4	243,6	1.296,2	Habitual
2014	46,4	138,3	201,6	139,8	5,8	-	0,4	-	2,0	28,1	206,7	270,9	1.040,0	Seco
2015	79,6	183,6	219,0	160,4	39,2	-	1,3	-	39,2	24,1	264,7	80,6	1.091,7	Seco
2016	461,0	51,2	137,8	37,0	0,6	-	-	0,7	69,2	69,5	245,2	171,4	1.243,6	Habitual
2017	55,2	225,4	123,1	16,0	31,8	-	-	-	3,8	80,9	287,4	268,8	1.092,4	Habitual
2018	128,5	179,2	64,2	151,7	13,0	-	-	8,6	33,3	138,8	439,7	313,2	1.470,2	Chuvoso
2019	54,6	110,4	228,8	107,8	29,3	0,2	-	-	1,7	21,6	258,8	158,6	971,8	Seco
2020	364,9	242,5	342,0	164,2	null	-	-	-	4,7	111,9	null	214,4	1.444,6	Chuvoso
2021	113,3	305,6	71,4	105,5	-	4,4	-	null	null	null	null	null	600,2	Muito Seco

Fonte: INMET. Organizado pelos autores.

Figura 3. Valores mensais e anuais de precipitação para Unai-MG (1990 a 2021).

Com relação à erosividade em Unai, o valor médio para o período de 1990 a 2021 é de 8.422,1 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹, relativamente próximo ao de Catalão-GO e também aos valores médios encontrados na literatura para a região. A erosividade anual de 8.267,6 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹ pode ser considerado como o habitual, tendo sido calculado para o ano de 2010 (Figura 4). O maior registro de erosividade na área em apreço foi de 12.543,5 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹, verificado justamente no ano classificado como muito chuvoso (1991), enquanto que o mínimo foi de 5.044,4 MJ.mm.ha⁻¹.ano⁻¹, registrado em um ano classificado como seco (1990).

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual	Anos-padrão
1990	1.172,4	723,4	198,5	297,5	173,4	-	147,2	114,0	64,4	614,9	1.192,5	346,2	5.044,4	Seco
1991	1.141,1	1.345,2	4.644,7	595,4	3,8	-	-	-	50,3	242,7	3.192,0	1.328,4	12.543,5	Muito Chuvoso
1992	3.439,4	1.507,2	476,9	921,9	-	-	-	16,1	269,4	187,2	1.561,3	1.779,1	10.158,6	Chuvoso
1993	717,2	1.733,0	-	559,2	18,5	62,6	-	38,2	35,6	186,2	881,2	3.864,8	8.096,6	Habitual
1994	2.826,6	550,4	2.416,3	80,0	1,2	83,5	-	-	-	244,8	1.019,6	1.295,8	8.518,2	Habitual
1995	567,4	1.223,8	1.029,5	239,4	107,7	-	-	-	-	713,7	1.937,8	3.127,4	8.946,6	Chuvoso
1996	878,3	149,4	890,2	770,6	285,5	-	-	6,7	16,5	774,1	2.003,3	1.387,4	7.162,0	Habitual
1997	1.887,9	257,4	1.953,8	534,9	101,9	160,5	-	-	12,2	425,9	1.165,4	1.238,7	7.738,6	Habitual
1998	1.550,7	268,1	62,2	83,6	14,7	-	-	2,2	-	431,0	4.103,3	1.177,9	7.693,7	Muito Seco
1999	672,5	452,2	1.606,9	30,6	2,9	-	-	1,0	-	53,8	727,5	623,6	3.250,1	Seco
2000	970,6	1.805,7	2.922,0	8,0	-	-	2,4	48,4	49,5	190,5	2.584,6	617,2	9.198,9	Habitual
2001	104,0	267,7	759,5	0,9	297,1	-	3,0	129,7	49,4	835,1	4.516,4	835,1	7.797,9	Habitual
2002	670,8	2.018,3	1.874,6	11,3	7,5	-	0,3	-	36,4	46,7	984,9	2.386,0	8.036,7	Habitual
2003	2.086,2	1.169,7	1.679,6	168,6	111,9	-	-	33,3	15,9	85,2	1.105,8	1.170,8	7.627,1	Habitual
2004	2.380,9	3.587,7	986,2	325,7	0,0	0,0	-	-	-	311,4	844,6	1.458,4	9.895,0	Chuvoso
2005	646,9	3.416,3	1.673,9	52,0	0,2	-	-	61,8	34,6	15,1	3.813,4	2.240,2	11.954,5	Muito Chuvoso
2006	420,1	498,2	1.838,6	716,9	1,7	-	-	5,5	124,1	761,5	1.535,9	2.496,6	8.399,1	Chuvoso
2007	3.580,9	3.227,1	53,1	128,0	2,7	-	1,8	-	-	186,8	205,9	1.634,2	9.020,6	Habitual
2008	2.156,9	777,4	1.250,8	437,2	-	-	-	-	153,7	1,9	1.968,5	1.450,5	8.197,0	Habitual
2009	1.553,0	1.192,2	101,1	663,0	17,8	1,4	-	22,3	188,2	1.919,7	566,0	1.968,1	8.192,9	Habitual
2010	781,6	122,9	1.703,0	266,6	27,8	0,1	-	-	12,9	1.137,4	1.338,9	2.204,4	7.595,6	Habitual
2011	1.016,3	154,4	4.759,1	145,6	0,8	-	-	-	-	590,3	971,1	2.618,7	10.256,2	Habitual
2012	1.399,6	1.312,2	394,7	36,0	15,6	0,0	-	-	28,1	58,6	4.357,5	524,2	8.126,5	Seco
2013	2.269,0	227,8	1.046,2	255,0	28,2	125,9	-	-	198,3	669,1	769,8	1.713,1	7.302,4	Habitual
2014	126,7	795,6	1.499,6	810,1	3,8	-	0,0	-	0,6	54,5	1.564,0	2.464,9	7.320,0	Seco
2015	301,6	1.230,1	1.654,7	980,1	91,6	-	0,3	-	91,6	40,4	2.276,0	308,0	6.974,5	Seco
2016	5.186,4	128,7	680,4	74,5	0,1	-	-	0,1	213,6	215,1	1.793,5	982,0	9.274,3	Habitual
2017	162,9	1.735,9	627,6	20,3	64,4	-	-	-	1,8	309,8	2.612,4	2.334,4	7.869,4	Habitual
2018	525,5	919,4	163,6	694,7	11,1	-	-	5,6	54,2	598,2	4.160,8	2.351,6	9.484,6	Chuvoso
2019	176,4	576,6	1.964,3	553,9	61,9	0,0	-	-	0,5	37,1	2.416,6	1.060,5	6.847,8	Seco
2020	3.085,9	1.552,0	2.767,1	805,5	null	-	-	-	2,0	422,6	null	1.261,6	9.896,7	Chuvoso
2021	903,3	4.793,2	415,5	801,1	-	3,8	-	null	null	null	null	null	6.916,9	Muito Seco

Fonte: INMET. Organizado pelos autores.

Figura 4. Valores mensais e anuais de erosividade para Unaí-MG (1990 a 2021).

Dessa forma, de maneira geral, percebe-se que anos classificados como muito chuvosos e chuvosos representam os maiores valores mensais e anuais de erosividade, isto porque a quantidade de chuvas expressa a condição da erosividade.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme verificado pelos dados apresentados e analisados, como é dependente da variabilidade e do regime de chuvas, a erosividade apresenta uma variação no decorrer dos anos da série temporal analisada e, principalmente, uma variação entre os meses do ano. Na ocasião, a análise se voltou a variação dos valores anuais de erosividade, entre anos classificados como habituais, secos, chuvosos, muito secos e muito chuvosos, para o período de 1990 a 2021.

Constata-se que o período chuvoso representa os maiores índices de erosividade mensal, da mesma forma que anos classificados como chuvosos e muito chuvosos representam os maiores índices de erosividade anual. A condição inversa, de menores índices de erosividade, pode ser verificada em anos classificados como secos e/ou muito secos.

Dessa forma, os programas de monitoramento devem ser incentivados, de modo a permitir menos risco de deflagração de processos erosivos em períodos chuvosos. Ainda, deve-se considerar que, diante da variabilidade anual das chuvas, entre anos de regime habitual e excepcional, e, por conseguinte, da erosividade, a energia disponível para deflagrar o processo erosivo é também variável.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, C. O. S., AMORIM, R. S. S., ELTZ, F. L. F., COUTO, E. G, JORDANI, S. A. Erosividade da chuva em municípios do Mato Grosso: distribuição sazonal e correlações com dados pluviométricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 16, 142-152. 2012. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662012000200003>.
- BAZZANO, M. G. P., ELTZ, F. L. F., CASSOL, E. A. Erosividade e características hidrológicas das chuvas de Rio Grande (RS). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 34, 235-244. 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832010000100024>.
- BERTOL, I. Índice de erosividade (EI30) para Lages (SC) – 1ª aproximação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 28 (4), 515-521. 1993. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n4-384>.
- BERTOL, I. Avaliação da erosividade da chuva na localidade de Campos Novos (SC) no período de 1981 a 1990. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.29, n. 9, p. 1453-1458, 1994. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400016>.
- COLODRO, G., CARVALHO, M. P., ROQUE, C. G., PRADO, R. M. Erosividade da chuva: distribuição e correlação com a precipitação pluviométrica de Teodoro Sampaio (SP). **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 26, 809-818. 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-06832002000300027>.
- DEDECEK, R. A. Fatores de erosividade da chuva, enxurrada e perdas de solo sob condições de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 23, 1431-1438. 1998.
- MARQUES, J. J. G. DE S. E M., ALVARENGA, R. C., CURI, N. Erosividade das chuvas da região de Sete Lagoas, MG. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 33, 761-768. 1998.
- FOURNIER, F. **Climat et erosion**. Paris, Press Universitaires de France. 1960.
- LOMBARDI NETO, F., MOLDENHAUER, W.C. Rainfall erosivity - its distribution and relationship with soil loss at Campinas, state of São Paulo, Brazil. **Bragantia**, 51, 189–196. 1992. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400012>.
- MARÇAL, M. S. 1998: **Degradação Ambiental no Alto Curo da Bacia do Rio Açailândia (MA): Uma Avaliação dos Processos de Erosão Acelerada**. Tese de doutoramento. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (Brasil).
- MELLO, C. R. et al. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 42, 537-545. 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2007000400012>.
- NASCIMENTO, D. T. F., ROMÃO, P. DE A., SALES, M. M. Erosividade e erodibilidade ao longo de dutovia cortando os estados de Minas Gerais e Goiás - Brasil. **Ateliê Geográfico**, 12, 97-117. 2018. <https://doi.org/10.5216/ag.v12i1.46152>.
- NASCIMENTO, D. T. F. Mapeamento de erosividade do estado de Goiás e do Distrito Federal a partir de estimativas de precipitação por satélite. **Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica**, 12, 212-223. 2016.
- OLIVEIRA, P. T. S., WENDLAND, E., NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: A review. **Catena**, 100, 139-147. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2012.08.006>.
- PASTORE, E. L. Contribuição ao Tema Geotecnia e Meio Ambiente: Erosão. **Congresso**

brasileiro de mecânica dos solos e engenharia de fundações, 5. 1986.

SILVA, J. R. C., DIAS, A. S. A erosividade das chuvas em fortaleza (CE). II -Correlação com o coeficiente de chuva e atualização do fator R no período de 1962 a 2000. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, 27, 347-354. 2003. <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000200014>.

SILVA, M. L. N. et al. Índice de erosividade das chuvas da região de Goiânia, GO”. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. 32, 977-985. 1997.

VILAR, O. M., PRANDI, E. C. Erosão dos Solos. Cintra, J. C. A.; Albiero, J. H. (Ed.s), **Solos do Interior de São Paulo**. São Paulo,177-206. 1993.

WISCHMEIER, W. H., SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses** – A guide to conservation planning. Washington, USDA. 1979.