



EROSIVIDADE DAS CHUVAS NO MUNICÍPIO DE CODAJÁS, AMAZONAS

Nathália da Costa e Costa¹
Miqueias da Silva Ferreira²
João Cândido André da Silva Neto³
Viviane de Souza Vieira⁴

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar a Erosividade das chuvas no município de Codajás, Amazonas, entre os anos de 1993 a 2023. A erosividade da chuva é um índice que quantifica o potencial de erosão da chuva em um determinado local. Esse índice representa o valor médio anual da capacidade da chuva em erodir o solo de um terreno sem cobertura vegetal. Assim, a análise da erosividade das chuvas justifica-se por contribuir para a compreensão das vulnerabilidades das paisagens da região Amazônica, que pode auxiliar em diretrizes para o uso sustentável da terra. Quanto à metodologia, a erosividade das chuvas foi elaborada a partir uma série histórica de dados de 1993 a 2023, os quais foram obtidos das estimativas de dados mensais e anuais do produto Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Stations (CHIRPS 2.0), que constituem-se como conjuntos de dados de precipitação obtidos a partir de observações locais e remotas. Enfatiza-se que a utilização de dados integrados de sensoriamento remoto e estações de superfície, é uma alternativa interessante para obtenção dados de pluviométricos, visto a baixa cobertura de estações pluviométricas na região Amazônica. A determinação do valor médio anual do índice de erosividade, foi obtido por meio da relação entre a média mensal e a média anual de precipitação, calculada a partir de equações ajustadas para região. A implementação do tratamento geoestatístico foi realizado no software gratuito de geoprocessamento Quantum GIS (QGIS), em que realizou-se a amostragem dos dados por meio de Krigagem ordinária com modelo de ajuste Exponencial com R^2 de 0.80. Quanto aos resultados, verificou-se que cerca de 5% da área do município de Codajás apresentaram erosividade das chuvas entre 11500 e 11750 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, 28% entre 11750 e 12000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, 25% entre 12000 e 12250 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, 36 % entre 12250 e 12500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, e 6 % acima 12500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Desse modo, considera-se que erosividade das chuvas no município de Codajás pode ser classificada como Muito Alta, por apresentar valores acima de 10000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹.

Palavras-chave: Erosividade das chuvas; CHIRPS; Amazônia; Codajás.

¹ Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Amazonas- UFAM; nathalia.costa@ufam.edu.br

² Mestrando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Amazonas- UFAM, coautor mdsferreira6@gmail.com

³ Doutor do Curso de Geografia da Universidade Federal do Amazonas -UFAM; joacandido@ufam.edu.br;

⁴ Graduada Curso de Geografia da Universidade Federal do Amazonas- UFAM viviane.vieira@ufam.edu.br



INTRODUÇÃO

De acordo com Xavier et al.,(2010) das formas de alteração no uso do solo, a erosão, é provavelmente, a forma de degradação mais severa das paisagens no mundo, sendo intensificadas pela ação antrópica.

Conforme Hernani et al., (2002) a erosão se refere a um processo natural que pode estar sendo acometido mesmo em ecossistemas em equilíbrio. Todavia, as intervenções humanas elevam a taxa de incidência desse processo, conseqüentemente culminando na “erosão acelerada”.

Para Guerra (2013) a erosão causa, quase sempre, uma série de problemas ambientais, em nível local ou até mesmo em grandes áreas.

Do ponto de vista econômico, a erosão, acarreta danos significativos ao destruir as infraestruturas urbana. No contexto ambiental a erosão tende a promover assoreamento de lagos e canais fluviais, em alguns casos alterando o fluxo subsuperficial, empobrece o solo dada a falta de nutrientes etc. (RUBIRA *et al.*, 2016).

Define-se erosão como um processo que ocorre em duas fases: uma que constitui a remoção de partículas, e outra que é o transporte desse material, efetuado pelos agentes erosivos (GUERRA, 2013).

Segundo Hernani et al., (2002, p. 56) “no Brasil, onde predomina o clima tropical justamente no período de implantação das culturas de verão, é frequente a ocorrência de chuvas com alto potencial erosivo”. Guerra (2007) também enfatiza da atuação da erosão pluvial que de forma mais grave acontecem em regimes de chuvas tropicais, onde os totais pluviométricos são bem mais elevados do que em outras regiões do planeta. O autor destaca ainda que em muitas dessas áreas, as chuvas se concentram em determinadas estações do ano, o que agrava mais a erosão. Acelerando à medida em que as terras são desmatadas.

Para Silva *et al.*, (2007) a erosão trata-se de um processo complexo sobre o qual vários fatores exercem influência destacando-se o solo, geologia, clima, topografia e cobertura/manejo do solo.

Dessa forma, a erosão é causada por forças ativas e passivas. No primeiro caso, como as características da chuva, a declividade, comprimento do declive, capacidade do solo em absorver a água, e por forças passivas, considerando a resistência do solo na ação erosiva da água e a densidade da cobertura vegetal (SALOMÃO, 2007).



A região Amazônica sendo um dos mais importantes ecossistemas do planeta, é caracterizada por um clima equatorial quente e úmido, com alta pluviosidade distribuída de forma espacial e temporal distinta, tornando suas paisagens vulneráveis à erosividade das chuvas.

Segundo Crepani *et al.*, (2001) a erosividade diz respeito a capacidade das chuvas em causar erosão nos solos tendo em vista as características físicas da chuva destacando-se a intensidade pluviométrica, quantidade ou pluviosidade total e distribuição sazonal.

Wischmeier e Smith (1978), ao propor uma equação (USLE – Universal Soil Loss Equation) que permitisse o planejador verificar a taxa de erosão do solo no guia “*Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning*”, integra os fatores desencadeadores dos processos erosivos, como a erodibilidade dos solos (fator K), relevo (fator topográfico LS), cobertura vegetal, manejo e práticas conservacionistas (CV) bem como a erosividade da chuva (fator R) em sua análise.

O fator R, isto é, a erosividade das chuvas é obtida a partir do índice **EI30**, que considera a energia cinética total das gotas das chuvas como também sua intensidade máxima em 30 minutos (SALOMÃO, 2007).

Segundo Barbosa *et al.*, (2015) A USLE trata-se de uma equação empírica do qual deve ser interpretada como restrita e válida apenas dentro do intervalo das condições experimentais para a qual foi desenvolvida. Assim, para que a equação represente os principais fatores erosivos em diferentes locais ao redor do mundo, torna-se necessária a determinação de valores apropriados para estes, a fim de se adequarem às diferentes características de cada local estudado.

Dessa forma, Barbosa *et al.*, (2015) baseados na proposta de Wischmeier & Smith (1965) e Cabeda (1976), determinam a erosividade das chuvas para Belém, no estado do Pará, propondo ajustes na equação. Esses ajustes tornaram possível sua aplicação no presente artigo, tendo em vista as semelhantes características climáticas da região norte.

Assim, o presente artigo teve como objetivo analisar a Erosividade das chuvas no município de Codajás, Amazonas, entre os anos de 1993 a 2023, considerando os dados climatológicos do CHIRPS (Climate Hazards group Infrared Precipitations With Sratons), a equação proposta por Barbosa *et al.*, (2015) e a classificação da erosividade considerando Carvalho (1994).



Justifica-se essa pesquisa, primeiramente, por contribuir para a compreensão das vulnerabilidades das paisagens da região Amazônica, o que pode auxiliar em diretrizes para o uso sustentável da terra. Além disso, busca-se a ampliação de base de estudos voltados para erosividade especialmente em contextos regionais, tendo em vista o importante papel das florestas na manutenção e proteção do solo, que, quando modificadas, culminam para a degradação do solo.

Ademais, enfatiza-se que a utilização de dados integrados de sensoriamento remoto e estações de superfície, como uma alternativa interessante para obtenção de dados pluviométricos, dada a baixa cobertura de estações pluviométricas na região Amazônica.

METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido considerando todo o limite do município de Codajás, localizado no estado do Amazonas, à margem esquerda do rio Solimões, a oeste de Manaus, capital do estado do Amazonas, com cerca de 240 quilometro de distância. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município de Codajás possui uma população estimada de 24.451 (vinte e quarto mil, quatrocentos e cinquenta e um) pessoas em uma unidade territorial de 18.701, 04 km² (IBGE, 2024). (Figura 1).

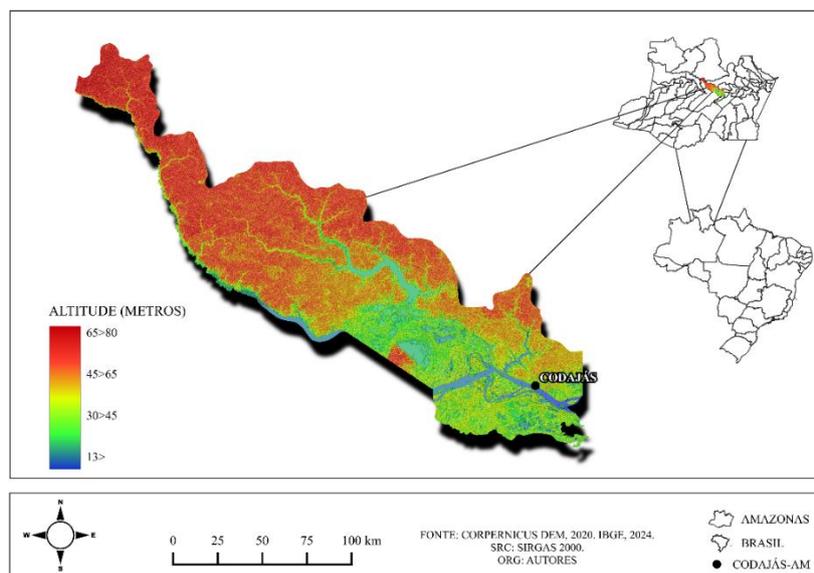
As características geológicas do município de Codajás é constituída sob três unidades geológicas, depósitos aluvionares holocênicos, Terraços holocênicos e Formação Içá (IBGE, 2024; COSTA, 2022).

Destacando-se a Formação Içá com 67, 92% da área de estudo com uma extensão de 12.707km², se tratando da formação ou unidade de rocha ígnea ou metamórfica com maior distribuição nos domínios da Província Estrutural Amazônia-Solimões em território brasileiro, e representa a principal unidade da constituição da Subprovíncia Estrutural Içá, ou Bacia Cenozoica Içá. (IBGE, 2024).

Quanto à geomorfologia da área de estudo verifica-se a presença da depressão do Solimões com 68,02% do município com extensão de 1.2726 km² aproximadamente. Constituído também pela planície Amazônica com 24,01% do município com 4.491km² de extensão. (IBGE, 2024).

No que se refere aos solos encontrados no município de Codajás, constitui-se dos solos Argissolos Amarelo com 6,34% de extensão territorial com 1.185km², Argissolos Vermelho-Amarelo com 33,54% e 6.275km² de extensão com forte presença de argila no horizonte A, podendo ser pouco ou muito profundo. Os Gleissolos Háptico com 13,42% e 2.511 km² da área de estudo, Neossolos Flúvicos 8,69% com 1.626km² do município e Plintossolo Argiluvico com 21,08% e com extensão de aproximadamente 3.943km² esses três últimos solos são encontrados principalmente nas planícies de inundações e/ou margeando os rios (IBGE, 2024).

(Figura 1.) Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autores (2025).

Para a análise da erosividade das chuvas no município, foram considerados os dados climatológicos do CHIRPS (Climate Hazards group Infrared Precipitations With Srations), a equação proposta por Barbosa et al., (2015) e a classificação da erosividade considerando Carvalho (1994). (Figura 1).

O Climate Hazards group Infrared Precipitations With Srations (CHIRPS), é um conjunto de dados de precipitação quase global (50°S 50°N) de alta resolução espacial a 0,5° x 0/05° de resolução horizontal do qual combina medições de estações meteorológicas com estimativas de satélite para criar um conjunto confiável de dados de precipitação de 1981 até o presente (Funk et al., 2015). Os dados do CHIRPS ficam disponíveis no sítio eletrônico da UCSB (<ftp://ftp.chg.ucsb.edu/pub/org/chg/products/CHIRPS-2.0/>), em formato GeoTiff.



Assim, a erosividade das chuvas foi elaborada a partir da aquisição de dados do CHIRPS 2.0, em que se calculou para Codajás as médias mensais e anuais de precipitação, considerando os anos de 1993 até 2023. Posteriormente implementou-se a equação (1) proposta por Barbosa et al. (2015) no Software QGIS. (Figura 2):

$$EI = 25,31 * \left(\frac{r^2}{P}\right) + 496,56 \quad (1)$$

Onde:

EI = média mensal do índice de Erosividade em

MJ/ha.mm;

r = média mensal de precipitação (mm);

P = média anual de precipitação, (mm).

Para calcular a erosividade anual (R), somaram-se os índices mensais ao longo da série histórica 1993 a 2023 (equação 2).

$$R = \sum EI \quad (2)$$

Onde:

R = erosividade da chuva (MJ/ha.mm/ano);

EI = média mensal do índice de Erosividade.

Para a espacialização da erosividade das chuvas na área de estudo foi utilizada, o método de interpolação geoestatística, especificamente a ferramenta interpolação Krigagem ordinária e feita a reamostragem dos Pixels no programa QGIS.

Segundo Back e Poletto (2018), a ferramenta de interpolação Krigagem ordinária baseia-se em uma função contínua que descreve o comportamento de uma variável nas diferentes direções do espaço geográfico. Além disso, permite associar a variabilidade da estimacão com base na distância entre pares de pontos utilizando um semivariograma.

No que se refere a classificação do índice de Erosividade em Codajás, foi considerada a proposta de Carvalho (1994), em MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹, e MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ mês⁻¹. Conforme a Quadro 01.

Quadro 01. Classes de Erosividade da chuva média anual e mensal.

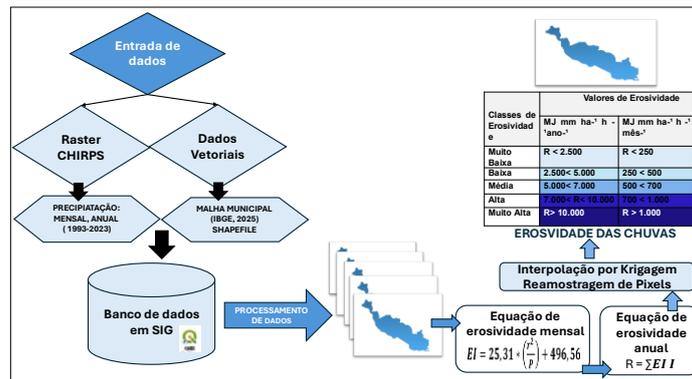
Classes de Erosividade	Valores de Erosividade	
	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ ano ⁻¹	MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ mês ⁻¹
Muito Baixa	R < 2.500	R < 250
Baixa	2.500 < 5.000	250 < 500

Média	5.000 < R < 7.000	500 < 700
Alta	7.000 < R < 10.000	700 < 1.000
Muito Alta	R > 10.000	R > 1.000

Fonte: Carvalho (1994); Adaptado por Silva Neto e Aleixo, 2020.

O mapa de erosividade do município de Codajás, foram gerados posteriormente também pelo programa QGIS e as suas cores foram padronizadas para possibilitar a compreensão dos maiores índices de erosividade considerando a intensidade das cores.

Figura 2- Fluxograma para elaboração da erosividade das chuvas.



Organização: Autores (2025).

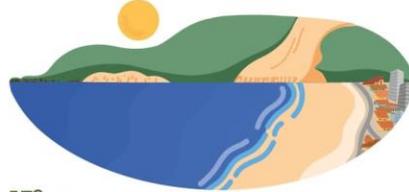
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio dos estudos desenvolvidos por Lima et al., (2023) sobre a erosividade das chuvas do Brasil, foi possível reconhecer as equações ajustadas para cada região do país, ao utilizarem 68 equações para calcular o índice de erosividade da chuva - EI30, com dados de precipitação mensal e anual.

Assim, foi possível a elaboração e análise da erosividade da chuva no município de Codajás, pesquisa pertinente, pois conforme Lima et al., (2023) é fundamental a avaliação e compreensão da erosividade das chuvas para o planejamento e manejo adequado do solo.

Os menores índices de erosividade das chuvas no período de estudo, em Codajás, apresentou-se em 5 % com 11500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e 11750 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. Também com 28% entre 11750 e 12000 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹ e 25% entre 12000 e 12250 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ ano⁻¹. (Figura. 3).

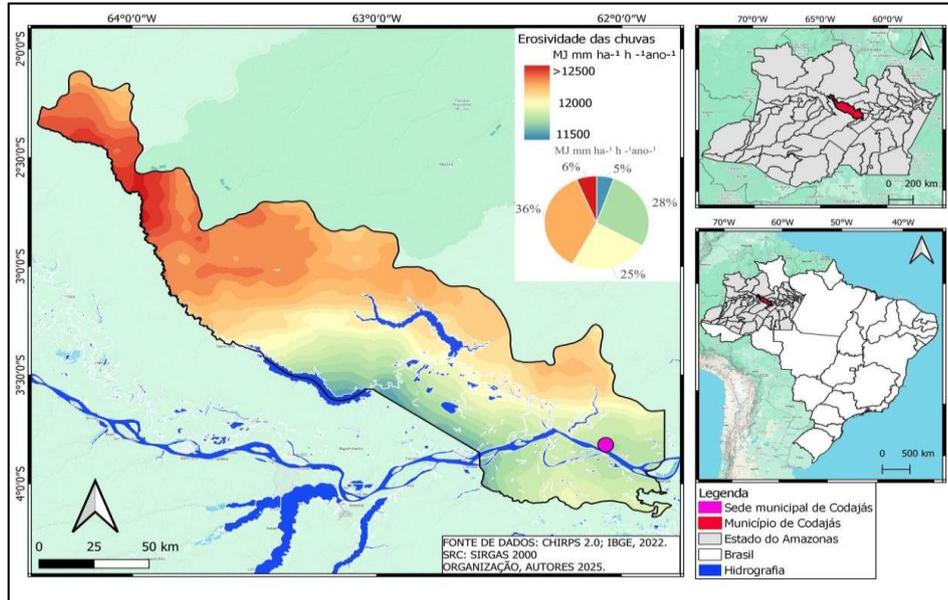
Por meio da classificação de Carvalho (1994), esses valores indicam um alto índice de erosividade no município. Destaca-se que tais áreas, possuem as maiores



15º SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA

concentrações dos Codajaenses, implicando na vulnerabilidade da paisagem a partir das modificações no solo para os diferentes tipos de uso.

Figura 3- Mapa de Erosividade das Chuvas no Município de Codajás-AM.



Elaboração: autores, 2025.

Segundo Mateo et al. (2007 apud Silva Neto, 2013) qualquer paisagem modificada ou transformada pelo homem, como regra geral, é menos estável que uma paisagem original, uma vez que se altera os mecanismos naturais de autorregulação.

A cobertura vegetal, por exemplo, conforme Bertoni e Lombardi Neto (1999) trata-se de uma defesa natural de um terreno contra a erosão efetuando uma proteção direta contra o impacto das gotas das chuvas. Dessa forma, embora a erosividade das chuvas, com 36 % entre 12250 e 12500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ano⁻¹, e 6 % acima 12500 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ano⁻¹, seja os maiores valores ocorrentes no limite de Codajás, são áreas pouco influenciada por atividades antrópicas, onde ainda há forte presença da cobertura vegetal não havendo significativas alterações da paisagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De maneira geral, a metodologia aplicada e os resultados obtidos por meio do produto CHIRPS, foram satisfatórios, tendo em vista a baixa cobertura de estações pluviométricas na região Amazônica. A erosividade das chuvas em Codajás, se apresenta como alta de acordo com a classificação de Carvalho (1994) e apesar, das maiores concentrações serem ocorrentes em áreas com pouca interferência antropica, não podemos desconsiderar o alerta, pois se efetuadas mudanças na paisagem, podem contribuir para a atuação dos processos erosivos.



AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Amazonas (FAPEAM). Ao Laboratório HIDROGEO – UFAM (Hidrogeografia, Climatologia e Análise Ambiental da Amazônia) - Universidade Federal do Amazonas.

REFERÊNCIAS

BACK, A. J.; POLETO, C. Distribuição espacial e temporal da erosividade das chuvas no estado de Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 381–403, 2018.

BARBOSA, A. J. S.; BLANCO, C. J. C.; MELO, A. M. Q. de. Determinação do fator energético da chuva (R) para Belém-PA. 2015. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE HIDROSEDIMENTOLOGIA, 1., 2015, Porto Alegre, RS. **Anais...** Porto Alegre, RS: IPH, 2015.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do Solo**. 4 ed. São Paulo: Ícone. 1999.

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

CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia Prática**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 599 p.

COSTA, N. C.; FERREIRA, M. S.; SILVA NETO, J. C. A. Análise têmporo- espacial do uso da terra e cobertura vegetal na estrada Codajás-Anori, AM. In: Silva Neto, J. C. A.; Wachholz, F.. (Org.). **Geotecnologias e Análise da Paisagem na Amazônia**. 1ed.São Paulo: Alexa Cultural, 2022, v. 1, p. 213-232.

CREPANI, E; MEDEIROS, J. S; FILHO, P. H; FLORENZANO, T. G; DUARTE, V; BARBOSA, C. C. F. **Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-econômico e ao Ordenamento Territorial**. São José dos Campos, INPE-8454-RPQ/722. 2001.

FUNK, C. PETERSON, P.; LANDSFELD, M.; PEDREROS, D.; VERDIN, J.; SHUKLA, S; HUSAK, G.; ROWLAND, J.; HARRISON, L.; HOELL, A.; MICHAELSEN, J. **The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes**. Scientific data, v. 2, p. 150066, 2015. Disponível em: [The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes | Scientific Data](#). Acesso em: 29 de maio de 2025.

GUERRA, A. J. T. In: GUERRA, T. A. J. SILVA, A. S. BOTELHO, R. G.(Orgs). O início do Processo erosivo. **Erosão e conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro. Bertrand Brasil, 2007. cap 1. p. 17-50.



GUERRA, A. J. T. Processos erosivos nas encostas. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (Orgs.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 12. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2013. p. 149-199.

HERNANI, L. C.; FREITAS, P. L. de. A erosão e seu impacto. In: Manzatto, C. V.; Freitas Junior, E. de; Peres, J. R. R. (Eds.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: **Embrapa Solos**, 2002. Capítulo 5, p. 47-60.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados**. Disponível em: [IBGE | Cidades@ | Amazonas | Codajás | Panorama />](#). Acesso em: 25/05/2025.

LIMA, E. de P; XAVIER, J. P. de S.; BARROS, A. H. C; SILVA, B. B. da. **Erosividade da Chuva do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2023. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, n. 286). Disponível em: [www.embrapa.br](#). Acesso em: 29 maio 2025.

RUBIRA, F. G; MELO, G. do V. de; OLIVEIRA, F. K. S. de. Proposta de padronização dos conceitos de erosão em ambientes úmidos de encosta. **Revista de Geografia**, [S. l.], v. 33, n. 1, 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/revistageografia/article/view/229235>. Acesso em: 29 maio. 2025.

SALOMÃO, F. X. de T. Controle e prevenção dos processos erosivos. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. 3. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007. p. 340.

SILVA NETO, J. C. A. **Zoneamento ambiental como subsídio para o ordenamento do território da bacia hidrográfica do rio Salobra, Serra da Bodoquena – MS**. 2013. Tese (Doutorado em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Campus de Presidente Prudente, 2013.

SILVA NETO, J. C. A; ALEIXO, N. C. R. Erosividade da chuva na região do médio Solimões, Amazonas, Brasil. **Caminhos de Geografia**. Uberlândia-MG v. 21, n. 77 Out/2020.

SILVA, A. M. da; SCHULZ, H. E; CAMARGO, P. B. de. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. 1ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall-erosion losses: a guide to conservation planning**. Washington, D.C.: USDA, 1978. 58 p. (USDA. Agricultural Handbook 282).

XAVIER, F. V; CUNHA, K. L; SILVEIRA, A; SALOMÃO, F. X. de T. Análise da suscetibilidade à erosão laminar na Bacia do Rio Manso, Chapada dos Guimarães, MT, utilizando Sistemas de Informações Geográficas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. XX, n. XX, p. XX-XX, ano. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/151>. Acesso em: 29 maio 2025.