

Rio de Janeiro, RJ / Dezembro, 2024

OBJETIVOS DE
DESENVOLVIMENTO
SUSTENTÁVEL



Erodibilidade dos solos do Brasil



**Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos
Ministério da Agricultura e Pecuária**

ISSN 1517-2627 / e-ISSN 2966-2443

Documentos 246

Dezembro, 2024

Erodibilidade dos solos do Brasil

*Maurício Rizzato Coelho
José Francisco Lumbreras
André Júlio do Amaral
Gustavo Mattos Vasques
Jesus Fernando Mansilla Baca
Ricardo de Oliveira Dart
João Pedro das Neves Cardoso Pedreira*

Embrapa Solos
Rio de Janeiro, RJ
2024

Embrapa Solos

Embrapa Solos
Rua Jardim Botânico, 1024.
Jardim Botânico
Rio de Janeiro, RJ
22460-000
www.embrapa.br/solos
www.embrapa.br/fale-conosco/

Comitê Local de Publicações

Presidente

Ana Paula Dias Turetta

Secretário-executivo

Marcos Antônio Nakayama

Membros

Bernadete da Conceição Carvalho Gomes Pedreira
David Vilas Boas de Campos, Evaldo de Paiva Lima,
Helga Restum Hissa, José Francisco Lumbreras,
Joyce Maria Guimarães Monteiro, Lucia Raquel
Queiroz Pereira da Luz, Maurício Rizzato Coelho e
Wenceslau Geraldes Teixeira

Edição executiva

Marcos Antônio Nakayama

Revisão de texto

Marcos Antônio Nakayama

Normalização bibliográfica

Luciana Sampaio de Araujo

Projeto gráfico

Leandro Sousa Fazio

Diagramação

Alexandre Abrantes Cotta de Mello

Foto da capa

José Francisco Lumbreras

Publicação digital: PDF

Todos os direitos reservados

A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,
constitui violação dos direitos autorais (Lei nº 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Solos

Erodibilidade dos solos do Brasil / Maurício Rizzato Coelho ... [et al.]. – Rio de Janeiro
: Embrapa Solos, 2024.

PDF (38 p.) : il. color. – (Documentos / Embrapa Solos, e-ISSN 2966-2443 ; 246).

1. Erosão do Solo. 2. Erosão Hídrica. I. Coelho, Maurício Rizzato. II. Lumbreras,
José Francisco. III. Amaral, André Júlio do. IV. Vasques, Gustavo Mattos. V. Baca,
Jesus Fernando Mansilla. VI. Dart, Ricardo de Oliveira. VII. Pedreira, João Pedro das
Neves Cardoso. VIII. Série.

CDD (23. ed.) 631.45

Luciana Sampaio de Araujo (CRB-7/5165)

© 2024 Embrapa

Autores

Maurício Rizzato Coelho

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

José Francisco Lumbreras

Engenheiro-agrônomo, doutor em Planejamento e Gestão Ambiental, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

André Júlio do Amaral

Engenheiro-agrônomo, doutor em Ciência do Solo, pesquisador da Embrapa Trigo, Passo Fundo, RS

Gustavo Mattos Vasques

Engenheiro florestal, Ph.D. em Solos e Nutrição de Plantas, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Jesus Fernando Mansilla Baca

Engenheiro-cartográfico, doutor em Geografia, pesquisador da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Ricardo de Oliveira Dart

Geógrafo, mestre em Geografia, analista da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

João Pedro das Neves Cardoso

Pedreira

Bacharel em Ciências Matemáticas e da Terra, bolsista da Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ

Apresentação

A erosão hídrica é uma das principais causas da degradação das terras e ambiental. Sua determinação ou estimativa para um país permite, dentre outras aplicações, apoiar a implementação de políticas públicas que busquem promover o desenvolvimento econômico sustentável no meio rural por meio do fomento e adoção de práticas de conservação de solo e água. O índice de erodibilidade ou fator K da equação universal de perda de solo (USLE) é uma propriedade complexa que expressa a suscetibilidade do solo à erosão. Considera os atributos intrínsecos do solo, como textura, estrutura e permeabilidade, os quais podem ser inferidos das classes de solo de um mapa pedológico em cada unidade de mapeamento ou mancha de solo.

Este documento visa produzir o mapa de erodibilidade dos solos do Brasil e discutir as causas de variação da erodibilidade dos solos brasileiros. Para tal, inicialmente lançamos mão da interpretação especialista das 8.143 unidades de mapeamento de solos (UM) do mapa de solos do Brasil do IBGE, escala 1:250.000, atribuindo valores de 1 a 6 para as classes de solos, avaliadas até o 4º componente de cada UM a fim de representar, de forma semiquantitativa, as seguintes classes de erodibilidade dos solos brasileiros: (1) muito baixa, (2) baixa, (3) média, (4) alta, (5) muito alta e (6) extremamente alta. Para cada UM calculou-se a média ponderada dos valores de erodibilidade, utilizando como peso a área de cada um de seus componentes, donde obteve-se 48 valores (semiquantitativos) para as classes de erodibilidade das UM do mapa de solos do Brasil. Esses valores foram convertidos em valores

do fator K se baseando em informação da literatura, que estabelece um intervalo de valor do fator K para cada classe de erodibilidade supracitada.

Com esse procedimento, encontrou-se que os solos do Brasil se enquadraram na classe de erodibilidade média, com fator K médio de $0,0241 \text{ Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, e que as maiores áreas contínuas do país dominadas por solos mais suscetíveis à erosão ocorrem, sobretudo, na Região Nordeste, coincidindo com as áreas acometidas pela desertificação, um dos mais emblemáticos problemas atuais de degradação das terras e ambiental do país. A fim de validar o mapa produzido, comparou-se os seus valores de erodibilidade com medidas diretas do fator K obtidas em campo e existentes na literatura (chuva natural e simulada). Encontrou-se que as medidas do fator K de nosso mapa possuem valores centrais próximos aqueles medidos em campo. Além disso, foi comparado, visual e estatisticamente, a outro mapa de erodibilidade produzido para o país, obtido pelo método nomográfico. Na comparação, o presente mapa superestimou a erodibilidade para a maioria dos solos brasileiros, concordando em 32% dos casos.

Este trabalho atende ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 15 – Vida terrestre, estipulado pelas Nações Unidas (ONU), mais especificamente à meta 15.3, que pretende até 2030, combater a desertificação, restaurar a terra e o solo degradado, incluindo terrenos afetados pela desertificação, secas e inundações, e lutar para alcançar um mundo neutro em termos de degradação do solo.

Daniel Vidal Pérez

Chefe-Geral da Embrapa Solos

Sumário

Introdução	9
Procedimentos metodológicos	11
Critérios de seleção do número de componentes a serem avaliados das UM do mapa de solos do Brasil	11
Avaliação semiquantitativa da erodibilidade do solo	12
Avaliação quantitativa da erodibilidade do solo (fator K)	14
Produção do mapa de erodibilidade do solo do Brasil (fator K)	14
Validação do mapa de erodibilidade contra dados obtidos da literatura	14
Comparação com o mapa de erodibilidade de Godoi et al. (2021)	17
Desenvolvimento	17
Avaliação semiquantitativa da erodibilidade do solo do Brasil por classe de solo	17
Avaliação semiquantitativa da erodibilidade do solo por unidade da federação	20
Avaliação semiquantitativa da erodibilidade do solo por Grandes Regiões	21
Avaliação semiquantitativa da erodibilidade do solo no Brasil	23
Fator K no Brasil: distribuição espacial e sua relação com a erodibilidade do solo dos biomas brasileiros	24
Comparação com o trabalho de Godoi et al. (2021)	27
Validação externa do mapa de erodibilidade do solo	29
Considerações finais	30
Referências	31

Introdução

A despeito de quase um século de esforços de pesquisa e extensão rural, a erosão do solo pela água, vento e preparo do terreno ainda continua sendo a maior ameaça à saúde do solo e aos seus serviços ecossistêmicos em muitas regiões do mundo (Pennock, 2019). Esses esforços têm evidenciado, de maneira irrefutável, que se trata de uma ameaça global à produção de alimentos, à qualidade da água e à disponibilidade futura de terras para a agricultura, comprometendo a subsistência do meio rural, a saúde humana e a biodiversidade do planeta; e que ações eficazes coordenadas precisam ser promovidas e aceleradas para resolver esse grave problema (FAO, 2019).

Nas áreas agrícolas, a erosão do solo reduz a sua capacidade de infiltração, de disponibilidade e de drenagem da água e a profundidade de enraizamento das plantas (Lal, 2017), induzindo a perda de água, matéria orgânica, fertilizantes e nutrientes do solo, comprometendo a sua capacidade produtiva (Dechen et al., 2015). As partículas deslocadas do solo dos locais erodidos causam sedimentação e poluição de águas superficiais, bloqueio de cursos d'água e destruição de infraestruturas (Lal, 2017), cujos prejuízos podem representar perdas econômicas significativas, tendo um impacto considerável sobre as despesas e receitas dos agricultores (Dechen et al., 2015).

De acordo com Polidoro et al. (2019, 2021), o potencial de perdas anuais de solo por erosão hídrica no Brasil foi de 1,2 bilhão de toneladas somente no ano de 2017, sendo 0,7 bilhão de toneladas em áreas cultivadas (lavouras anuais e perenes). Os autores estimaram o custo anual dessa perda de solo em 6,3 bilhões de dólares americanos apenas considerando a reposição dos nutrientes perdidos.

A caracterização da erosão do solo, a predição de cenários via modelagem ambiental e a avaliação dos custos e benefícios das práticas para mitigar e prevenir tal fenômeno em áreas agrícolas são, portanto, de suma importância para subsidiar os tomadores de decisão e apoiar as políticas públicas a fim de promover investimentos em controle de erosão (FAO, 2019).

Solos taxonomicamente diferentes (tipos ou classes de solos) geralmente apresentam diferentes suscetibilidades a erosão. A maior ou menor vulnerabilidade à erosão é devida às suas propriedades intrínsecas, sendo referida em modelos de predição de erosão hídrica e eólica como “erodibilidade do solo” (Wischmeier; Smith, 1978). Wischmeier e Mannering (1969) observaram que a erodibilidade do solo é uma propriedade complexa que depende

tanto de sua capacidade de resistir à dispersão e transporte das partículas pela ação da chuva e enxurrada associada, quanto da sua capacidade para infiltrar água, ou seja, as propriedades intrínsecas do solo irão refletir na sua maior ou menor capacidade em dissipar a energia contida nos agentes erosivos “velocidade de queda das gotas de chuva” e “enxurrada” a ela associada (Renard et al., 1997).

A erodibilidade do solo expressa, portanto, a capacidade do solo em resistir à erosão hídrica, correspondendo ao fator K da Equação Universal de Perda de Solos (Universal Soil Loss Equation - USLE). Os atributos intrínsecos do solo que mais a influenciam são: textura (granulometria - areia, silte e argila), mudança textural abrupta (mudança expressiva de textura em curto espaço), que resulta em descontinuidade do movimento de água no perfil de solo, tipo de estrutura (arranjo das partículas - agregação), teor de matéria orgânica, permeabilidade (movimento da água no solo), profundidade efetiva (espessura do solo sem impedimento físico), presença ou ausência de camada adensada (horizonte coeso, duro quando seco e friável/solto quando úmido), pedregosidade e rochiosidade (Wischmeier; Smith, 1978; Ramalho Filho; Beek, 1995). Em regiões tropicais, outros atributos do solo, como teores de Al, Fe, mineralogia e atividade da fração argila, também influenciam fortemente a sua erodibilidade (Lal; Elliot, 1994).

Em termos práticos, o índice de erodibilidade (fator K da USLE) significa a perda de solo (Mg ha^{-1}) ocasionada por cada unidade do índice de erosividade (fator R da USLE) das chuvas ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1}$), sendo, por isso, expresso em unidades mistas ($\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$) (Wischmeier; Smith, 1978).

Diferentes metodologias têm sido utilizadas no País para determinação do fator K, segundo Schick et al. (2014): o método direto, medido no campo por meio de chuvas simuladas ou naturais, é considerado o valor que verdadeiramente reflete a erodibilidade do solo, tal como ela é compreendida na USLE. No entanto, esse método, além de necessitar de determinações morosas e de alto custo, principalmente quando medido em condições de chuvas naturais, requer também rigorosa padronização (Marques et al., 1997a; Nearing et al., 2000). Em consequência, foram poucos e esparsos os estudos no Brasil que objetivaram determinar diretamente a erodibilidade do solo (Godoi et al., 2021).

As limitações do método direto motivaram estudos direcionados ao desenvolvimento de métodos matemáticos para estimar a erodibilidade do solo a partir de atributos mais facilmente mensuráveis (Godoi et al., 2021). Esses, conhecidos como

métodos indiretos para determinação do fator K, sendo o mais utilizado o nomógrafo de erodibilidade do solo (Wischmeier et al., 1971), utilizam equações polinomiais desenvolvidas, em geral, por meio de regressões múltiplas entre o fator K medido diretamente no campo e os atributos do solo, tal como afirmam Marques et al. (1997b). Esses autores testaram 13 métodos indiretos de avaliação do fator K da USLE para solos brasileiros dotados de horizonte B textural (Bt), 12 deles desenvolvidos ou adaptados para as condições brasileiras. Concluíram que nenhum dos métodos testados foram adequados para a estimativa do fator K de todo o conjunto de solos com Bt estudados.

No Brasil, os principais trabalhos que determinaram o fator K pelo método direto com chuva natural, foram: Bertoni et al. (1975); Mondardo et al. (1978a); Eltz et al. (1981); Margolis e Campos Filho (1981); Biscaia et al. (1981); Margolis (1985); Martins Filho e Silva (1985); Dedecek et al. (1986); Fernandez Medina e Oliveira Junior (1987); Carvalho et al. (1989, 1993, 1997); Campos Filho et al. (1992); Oliveira Júnior e Medina (1996); Hernani et al. (1997); Marques et al. (1997a); Silva et al. (1997); Carvalho e Hernani (2001); Bertol et al. (2002); Albuquerque et al. (2005); Silva et al. (2009); Martins et al. (2011) e Eduardo et al. (2013).

O uso de simuladores de chuva (Swanson, 1965; Recomendações [...], 1975), por outro lado, tem possibilitado a condução de experimentos de campo para obtenção de dados num período de tempo relativamente mais curto em relação ao uso de chuvas naturais (Bertol et al., 2019), mas podem não representar fidedignamente os padrões naturais da erosividade da chuva (Godoi et al., 2021). Schick et al. (2014) destacam no Brasil os seguintes trabalhos desenvolvidos com chuva simulada: Mondardo et al. (1978b); Wünsche e Denardin (1978); Denardin e Wünsche (1981); Cassol et al. (1981); Resck et al. (1981); Dal Conte (1982); Lago e Margolis (1985); Martins Filho e Silva (1985); Távora et al. (1985); Rodrigues do Ó (1986); Silva et al. (1986, 1994); Martins Filho e Pereira (1993) e Bertol et al. (2007).

Além do elevado custo e de serem bastante laboriosas, já relatados anteriormente, as técnicas diretas de medição da erosão são difíceis de aplicar (Back, 2023). Em consequência, foram desenvolvidos vários métodos indiretos no Brasil para se obter estimativas de perda de solo por erosão utilizando atributos dos solos brasileiros, já que a expressão do fator K deduzida da equação de Wischmeier foi desenvolvida para solos norte-americanos e mostrou-se, em muitos estudos, inadequada ou com limitações ao uso para as condições brasileiras

(Leprun, 1981; Marques et al., 1997b; Silva et al., 2000; Martins et al., 2011). Cita-se aqui os seguintes trabalhos nessa linha de pesquisa: Lombardi Neto e Bertoni (1975), Denardin (1980), Lima et al. (1990), Roloff e Denardin (1994), Marques et al. (1997c), Silva et al. (1999) e Sá et al. (2004).

Leprun (1981), explanando sobre as razões da grande variação do fator K medido pelos métodos diretos, argumenta que o tipo de solo de uma mesma classe taxonômica pode apresentar o fator K diferente devido aos critérios utilizados nos sistemas de classificação taxonômica de solos diferirem daqueles que regem a suscetibilidade à erosão. Como corolário, o autor infere:

Não se pode atribuir a cada classe de solo o mesmo fator K, e as tentativas de fazer a cartografia do fator K a partir do mapa pedológico à razão de uma ou duas determinações de K (com o nomógrafo), por classe de solo, só podem levar a um fracasso (Leprun, 1981, p. 36).

Embora se reconheça a limitação dos métodos supracitados e, sobretudo, a dificuldade de abrangência e extrapolação dos resultados em função das diversas variáveis que interferem na erodibilidade do solo (Leprun, 1981; Arraes et al., 2010; Bonilla; Johnson, 2012), dada a importância em se conhecer e entender o processo erosivo em escala nacional, seja, por exemplo, para definir estratégias para o efetivo controle da erosão por meio da predição de cenários via modelagem ambiental (Godoi et al., 2021), seja utilizando o fator K ou parâmetros semiquantitativos de erodibilidade como covariáveis ambientais para a seleção de áreas prioritárias em programas e políticas públicas nacionais dedicadas ao desenvolvimento rural sustentável, é de fundamental importância estabelecer os níveis de referência do fator erodibilidade dos solos para o território brasileiro, tanto de forma semiquantitativa quanto quantitativa.

Godoi et al. (2021) publicaram o mapa de erodibilidade dos solos do Brasil utilizando dados legados de matéria orgânica, textura, estrutura e permeabilidade obtidos do SoilGrids, aplicando-os ao nomograma da USLE e ao modelo EPIC. A intenção do presente trabalho, no entanto, não é validar o presente mapa, comparando-o àquele de Godoi et al. (2021), já que ambos os métodos utilizados para os obter apresentam limitações. Busca-se aqui mostrar e testar uma alternativa mais simples (e empírica) para a obtenção de classes de fator K para solos brasileiros, baseada, sobretudo, no conhecimento tácito de pedólogos experientes, o qual possibilitou estabelecer a relação entre os atributos intrínsecos do solo, avaliados por meio do julgamento

especialista em todas as unidades de mapeamento de solos do mapa de solos do Brasil (IBGE, 2018) até nível de fase taxonômica, à capacidade dos solos em resistir aos processos erosivos lineares.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar o mapeamento semiquantitativo, a partir do qual se elaborou uma aproximação quantitativa da erodibilidade dos solos do Brasil, ou seja, do fator K do modelo de predição da erosão hídrica da USLE.

Procedimentos metodológicos

A metodologia baseou-se na interpretação especialista dos solos componentes das UM do mapa de solos do Brasil (IBGE, 2018), publicado na escala 1:250.000, a fim de se obter índices semiquantitativos e, a partir deles, quantitativos da erodibilidade do solo. Para tal, inicialmente avaliou-se de maneira integrada, subjetiva, qualitativa e comparativamente, componente a componente, os atributos implícitos (tipo e estabilidade da estrutura, hidromorfismo, permeabilidade, mineralogia, conteúdo de carbono orgânico, profundidade efetiva, relação textural,) e explícitos (grupamento textural, mudança textural abrupta, pedregosidade, rochosidade, conteúdo de óxidos de ferro, saturação por alumínio, atividade da argila, fase erodida) relacionados às classes de solos da legenda do mapa de solos do Brasil (IBGE, 2018) e que influenciam na sua erodibilidade, notadamente a capacidade dos solos de permitir a infiltração de água e de resistir a desagregação

e o transporte de partículas pela ação da água (Arraes et al., 2010).

A avaliação integrada dos atributos dos solos convergiu para classificar cada componente das UM do mapa de solos em seis classes de erodibilidade (muito baixa, baixa, média, alta, muito alta e extremamente alta), seguindo indicações de Mannigel et al. (2002). Esses autores também relacionaram cada uma das seis classes de erodibilidade a intervalos de valores do fator K, os quais foram utilizados neste trabalho para a obtenção do mapa de erodibilidade dos solos do Brasil, cujas metodologias são detalhadas a seguir.

Critérios de seleção do número de componentes a serem avaliados das UM do mapa de solos do Brasil

Na Tabela 1 é mostrado o quantitativo das UM do mapa de solos do Brasil (IBGE, 2018), considerando o seu número de componentes. Observa-se que 99,1% das UM têm até quatro componentes.

A Tabela 2, por sua vez, mostra o percentual de participação aqui estabelecido para cada componente na UM. A partir das porcentagens de área estabelecidas para cada componente das UM do mapa de solos do IBGE (Tabela 2), pode-se calcular a área ocupada por cada um dos quatro primeiros componentes das UM, considerando-se que esses ocupam 100% do território nacional (Tabela 3).

Em vista do exposto, optou-se neste trabalho pela avaliação da erodibilidade do solo até o quarto componente, quer devido à sua representatividade numérica (Tabelas 2 e 3), quer devido à proporção entre os

Tabela 1. Quantitativo de unidades de mapeamento de solos (UM) do mapa de solos do Brasil, considerando-se o número de componentes.

Número de componentes das UM	Número de UM	Número de UM acumuladas	% de UM	% UM acumuladas
1	705 ⁽¹⁾	705	8,7	8,7
2	3221	3926	39,6	48,2
3	3567	7493	43,8	92,0
4	579	8072	7,1	99,1
5	44	8116	0,5	99,7
6 a 10	27	8143	0,3	100

⁽¹⁾Esse valor significa que 705 UM têm apenas um componente.

Tabela 2. Participação percentual dos componentes considerada neste trabalho para cada UM do mapa de solos do Brasil.

Número de componentes das UM	1º componente	2º componente	3º componente	4º componente	5º componente
1	100	–	–	–	–
2	60	40	–	–	–
3	50	30	20	–	–
4	40	20	20	20	–
5	20	20	20	20	20

Traço (–): informação não aplicável

Fonte: IBGE (2018).

Tabela 3. Área ocupada pelos quatro primeiros componentes das UM do mapa de solos do Brasil, considerando-se a sua participação percentual, conforme preconizado na Tabela 2.

Número de componentes das UM	Área total ⁽¹⁾	1º componente ⁽¹⁾	2º componente	3º componente	4º componente
Área em ha	861.038.052	504.825.056	251.507.350	90.203.477	1.4502.169
Percentual	100,00%	58,63%	29,21%	10,48%	1,68%

⁽¹⁾ Área total inclui: corpos d'água, áreas urbanas e, como componente único de UM, dunas, praias e afloramentos de rocha, que juntos perfazem 19.511.799 ha.

Fonte: IBGE (2018).

componentes das UM, aqui considerada a mais adequada em relação às UM que detêm cinco ou mais componentes. Nestas, não há predominância da participação de seu primeiro componente em relação aos demais (Tabela 2), o que se considerou inadequado para consecução dos objetivos do trabalho.

Avaliação semiquantitativa da erodibilidade do solo

Para cada um dos componentes de solos de todas as 8.143 UM do mapa de solos do Brasil (IBGE, 2018), avaliando-os até o quarto componente, atribuiu-se valores de 1 a 6 para representar, de forma semiquantitativa, as seguintes classes de erodibilidade dos solos brasileiros (Mannigel et al., 2002): (1) muito baixa, (2) baixa, (3) média, (4) alta, (5) muito alta e (6) extremamente alta.

A fim de se determinar a porcentagem de contribuição de cada componente das UM, procedimento necessário para o cálculo (semiquantitativo) da erodibilidade de cada unidade de mapeamento do mapa de solos do Brasil, tal como veremos a seguir, estabeleceu-se as seguintes regras: (Tabela 2): a) 100% para UM com um componente; b) 60% e 40% para o primeiro e segundo componentes, respectivamente, para as UM com dois componentes; c) 50%, 30% e 20% para o primeiro, segundo e terceiro

componentes, respectivamente, para as UM com três componentes; e d) 40% para o primeiro componente e 20% para os outros três componentes, em se tratando de UM com quatro componentes.

O cálculo do valor numérico (semiquantitativo; adimensional) da erodibilidade das UM com mais de um componente foi realizado considerando-se uma ponderação entre os valores numéricos das classes de erodibilidade, avaliadas para cada componente da unidade de mapeamento (6 classes; Tabela 4), pelo seu percentual de ocorrência (Tabela 2). Para as UM com componente único, em número de 705 no mapa de solos do Brasil (Tabela 1), o valor numérico corresponde

Tabela 4. Intervalo de valores adimensionais de classes de erodibilidade do solo.

Avaliação numérica do componente	Valores limiares das UM	Classe de erodibilidade
1	≥ 1,0 a < 1,5	Muito baixa
2	≥ 1,5 a < 2,5	Baixa
3	≥ 2,5 a < 3,5	Média
4	≥ 3,5 a < 4,5	Alta
5	≥ 4,5 a < 5,5	Muito alta
6	≥ 5,5 a ≤ 6,0	Extremamente alta

aos valores inteiros de 1 a 6. Utilizando-se esse procedimento foram obtidos 48 valores (semiquantitativos) ponderados e adimensionais (Tabela 5) para as classes de erodibilidade das UM do mapa de solos do Brasil. A fim de possibilitar o enquadramento de todas as UM em alguma das seis classes de erodibilidade, definiu-se as faixas de valores mostradas na Tabela 4.

Tabela 5. Valores adimensionais (semiquantitativos) das classes de erodibilidade do solo, em número de 48, obtidos com a interpretação especialista das 8.143 UM do mapa de solos do Brasil e sua conversão para o fator K.

Classe de erodibilidade	Valores numéricos ponderados das UM (Adimensional)	Fator K (Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
Valores limiares	≥ 1,0 a < 1,5⁽¹⁾	≥ 0,0020 a < 0,0090⁽²⁾
Muito baixa	1,0	0,0020
Muito baixa	1,2	0,0052
Muito baixa	1,3	0,0068
Muito baixa	1,4	0,0084
Valores limiares	≥ 1,5 a < 2,5⁽¹⁾	≥ 0,0090 a < 0,0150⁽²⁾
Baixa	1,5	0,0090
Baixa	1,6	0,0096
Baixa	1,7	0,0102
Baixa	1,8	0,0108
Baixa	1,9	0,0114
Baixa	2,0	0,0120
Baixa	2,1	0,0126
Baixa	2,2	0,0132
Baixa	2,3	0,0138
Baixa	2,4	0,0144
Valores limiares	≥ 2,5 a < 3,5⁽¹⁾	≥ 0,0150 a < 0,0300⁽²⁾
Média	2,5	0,0150
Média	2,6	0,0165
Média	2,7	0,0180
Média	2,8	0,0195
Média	2,9	0,0210
Média	3,0	0,0225
Média	3,1	0,0240
Média	3,2	0,0255

Continua...

Tabela 5. Continuação

Classe de erodibilidade	Valores numéricos ponderados das UM (Adimensional)	Fator K (Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹)
Média	3,3	0,0270
Média	3,4	0,0285
Valores limiares	≥ 3,5 a < 4,5⁽¹⁾	≥ 0,0300 a < 0,0450⁽²⁾
Alta	3,5	0,0300
Alta	3,6	0,0315
Alta	3,7	0,0330
Alta	3,8	0,0345
Alta	3,9	0,0360
Alta	4,0	0,0375
Alta	4,1	0,0390
Alta	4,2	0,0405
Alta	4,3	0,0420
Alta	4,4	0,0300
Valores limiares	≥ 4,5 a < 5,5	≥ 0,0450 a < 0,060
Muito alta	4,5	0,0450
Muito alta	4,6	0,0465
Muito alta	4,7	0,0480
Muito alta	4,8	0,0495
Muito alta	4,9	0,0510
Muito alta	5,0	0,0525
Muito alta	5,1	0,0540
Muito alta	5,2	0,0555
Muito alta	5,3	0,0570
Muito alta	5,4	0,0585
Valores limiares	≥ 5,5 a ≤ 6,0⁽¹⁾	≥ 0,060 a ≤ 0,1100⁽²⁾
Extremamente alta	5,5	0,0600
Extremamente alta	5,6	0,0700
Extremamente alta	5,8	0,0900
Extremamente alta	6,0	0,1100

⁽¹⁾ Valores limiares semiquantitativos obtidos pela interpretação especialista das UM do mapa de solos do Brasil.

⁽²⁾ Classes de erodibilidade do solo (fator K) dos modelos USLE, segundo Mannigel et al. (2002).

Fonte: Mannigel et al. (2002) e IBGE (2018).

Avaliação quantitativa da erodibilidade do solo (fator K)

Para se obter os valores numéricos (quantitativos) de erodibilidade do solo para cada unidade de mapeamento, correspondendo ao fator K do modelo USLE, os 48 valores numéricos ponderados obtidos para as UM do mapa de solos do Brasil, cujo enquadramento nas classes de erodibilidade (semiquantitativa) é mostrado na Tabela 4, foram ponderados para cada uma das seis classes de erodibilidade, segundo os valores de fator K propostos por Mannigel et al. (2002). A Tabela 5 mostra a conversão dos 48 valores semiquantitativos e adimensionais de erodibilidade do solo, obtidos com a interpretação especialista das UM do mapa de solos do Brasil, em quantitativos (fator K; $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), bem como a relação entre as seis classes semiquantitativas de erodibilidade e o fator K, tal como proposto por Mannigel et al. (2002).

Produção do mapa de erodibilidade do solo do Brasil (fator K)

As informações para obtenção do mapa de erodibilidade dos solos do Brasil foram organizadas empregando: (a) planilhas Excel e macros em “Visual Basic for Applications” (VBA) para a realização de cálculos (Shepherd, 2004), (b) uso do sistema de informação geográfica (SIG) Quantum GIS (QGIS) para operações espaciais e visualização de arquivos shapefile (Baghdadi et al., 2018), e (c) Python e R para os processamentos diversos, tanto espaciais como alfanuméricos.

Para a geração do mapa, os valores ponderados do fator K e suas respectivas classes de erodibilidade, interpretados e ponderados para cada UM, foram atribuídos às respectivas UM do mapa de solos do Brasil (IBGE, 2018) por meio da junção da tabela contendo os valores e classes de fator K e da tabela de atributos do shapefile do mapa de solos. Após a junção, foram eliminadas as colunas do mapa de solos originais, mantendo-se apenas aquelas contendo: a) identificadores originais das UM; b) às legendas das UM e dos seus componentes; e c) os valores e classes do fator K das UM e dos seus componentes.

Para contabilizar a ocorrência das classes de erodibilidade dos solos no território brasileiro, as áreas de ocorrência de cada classe de erodibilidade, em termos de valores absolutos (hectares) e percentuais (%), foram calculadas para cada

UF e região, respectivamente. Para isso, o mapa de erodibilidade dos solos do Brasil foi cruzado com os mapas das Unidades da Federação (UF) e das regiões brasileiras, respectivamente. Após o cruzamento, as áreas dos componentes das UM presentes em cada polígono foram estimadas a partir da área total do polígono, multiplicando-se a área do polígono por um peso de acordo com o número de componentes da UM. Os pesos aplicados foram: 1 componente - componente único, peso 1 (área total do polígono); 2 componentes - componente 1, peso 0,6 (60% da área) e componente 2, peso 0,4 (40% da área); 3 componentes - componente 1, peso 0,5, componente 2, peso 0,3 e componente 3, peso 0,2; e 4 componentes - componente 1 peso 0,4 e componentes 2, 3 e 4 mesmo peso 0,2. Esses pesos correspondem aos mesmos utilizados para se obter os valores adimensionais e ponderados de erodibilidade do solo para cada UM.

A área de cada classe de erodibilidade foi, então, calculada para cada UF e região somando-se as áreas de todos os componentes contendo aquela classe de erodibilidade na UF e região, respectivamente. Finalmente, a área total de cada classe de erodibilidade foi calculada para toda a extensão do território brasileiro.

Validação do mapa de erodibilidade contra dados obtidos da literatura

Godoi et al. (2021) disponibilizaram, no material suplementar de seu artigo, uma tabela contendo a citação de 33 publicações de onde obtiveram 92 valores de medidas direta de erodibilidade do solo referentes a 50 municípios brasileiros. Após a apresentação da referida tabela, os trabalhos são referenciados. Contudo, nela não há dados de coordenadas geográficas das parcelas experimentais que estudaram as perdas de solo e água. Assim, recorreremos a cada uma das publicações citadas e referenciadas por Godoi et al. (2021) a fim de obtê-las. A Tabela 6 apresenta a relação de 43 valores de K obtidos por medidas diretas (chuva natural e chuva simulada) que conseguimos resgatar dos trabalhos citados e referenciados pelos autores supracitados, a qual também contém as coordenadas geográficas, a classe de solo e o município de estudo. Compreendem 31 trabalhos consultados que contêm dados de fator K de 30 municípios brasileiros referentes a 12 Estados, e 1 trabalho

referente ao Distrito Federal (Tabela 6). Embora estejam representadas todas as Grandes Regiões do Brasil, a maioria dos valores de erodibilidade obtidos se concentra nas Regiões Sul (19) e Sudeste (11), com poucos dados do Centro-Oeste (8), Nordeste (4) e Norte (1).

Para fins de validação do mapa aqui gerado, os valores do fator K obtidos de diferentes trabalhos na literatura (Tabela 6) foram tabulados, georreferenciados e extraídos para cada unidade de mapeamento do mapa de erodibilidade do solo produzido neste trabalho. Após o que, foram calculadas a diferença média, a diferença absoluta média e a raiz da diferença quadrática média (RMSD) entre o fator K do trabalho estimado em cada unidade de mapeamento e o fator K observado nos trabalhos externos nos mesmos locais. Como os valores do fator K não apresentaram distribuição de frequência normal nos conjuntos de dados, realizou-se o teste de postos sinalizados de Wilcoxon para dados pareados (Wilcoxon, 1945) a fim de comparar as medianas do fator K

entre os conjuntos de dados, ao intervalo de confiança de 95%.

Os passos seguintes consistiram na conversão dos valores do fator K observados nos trabalhos externos para classes de fator K, utilizando os mesmos limites de classes aplicados no trabalho. Uma tabela de contingência (matriz de confusão) foi elaborada confrontando as classes de fator K do trabalho com as classes de fator K observadas nos trabalhos externos para as mesmas UM.

A partir da tabela calculou-se o percentual de concordância. Além disso, aplicou-se o teste de correlação de Kendall (τ) (Kendall, 1938) para testar a correlação entre as categorias ordinais de fator K do trabalho e as categorias ordinais de fator K observadas nos trabalhos externos para as mesmas UM ao intervalo de confiança de 95%.

Tabela 6. Dados e informações dos trabalhos aqui utilizados para validação do mapa de erodibilidade, individualizados por Grandes Regiões.

Estado	Município	Latitude (S)	Longitude (W)	Método ⁽¹⁾	Fator K	Citação
Norte						
Amazonas	Manaus	02°53'44,08"	59°58'12,96"	CN	0,011	Fernandez Medina e Oliveira Junior (1987)
Nordeste						
Paraíba	Sumé	07°40'	37°00'	CN	0,013	Albuquerque et al. (2005)
Paraíba	Areia	06°57'53,71"	35°43'43,99"	CS	0,002	Silva et al. (1986)
Ceará	Sobral	03°39'10,20"	40°18'01,92"	CN	0,035	Ramos e Marinho (1980)
Ceará	Ubajara	03°52'25,16"	40°57'09,04"	CS	0,034	Távora et al. (1985)
Centro-Oeste						
Distrito Federal	Planaltina	15°35'55,09"	47°43'02,82"	CN	0,013	Dedecek et al. (1986)
Goiás	Ceres	15°19,98'	49°37,2'	CS	0,021	Marques et al. (2019)
Goiás	Ceres	15°19,98'	49°37,2'	CS	0,003	Marques et al. (2019)
Goiás	Ceres	15°19,98'	49°37,2'	CS	0,002	Marques et al. (2019)
Goiás	Goiânia	16°30'08,21"	49°17'08,86"	CN	0,009	Silva et al. (1997)
Mato Grosso do Sul	Dourados	22°16'41,82"	54°48'54,30"	CN	0,004	Carvalho e Hernani (2001)
Mato Grosso do Sul	Dourados	22°14'	54°49'	CN	0,0037	Carvalho e Hernani (2001)
Mato Grosso do Sul	Dourados	22°14'	54°59'	CN	0,0045	Hernani et al. (1997)

Continua...

Tabela 6. Continuação.

Estado	Município	Latitude (S)	Longitude (W)	Método ⁽¹⁾	Fator K	Citação
Sudeste						
São Paulo	Campinas	22°51'49,71"	47°04'25,50"	CN	0,0122	Bertoni et al. (1975)
São Paulo	Jaboticabal	21°13'00,71"	48°20'16,65"	CS	0,009	Martins Filho e Pereira (1993)
São Paulo	Catanduba	21°05'57,11"	49°01'02,08"	CS	0,039	Martins Filho et al. (2009)
Minas Gerais	Lavras	21°05'	45°00'	CS	0,004	Silva et al. (1994 citado por Silva et al., 2000)
Minas Gerais	Lavras	21°05'	45°00'	CS	0,01	Silva (1997 citado por Silva et al., 2000)
Minas Gerais	Belo Oriente	19°15'30"	42°26'58"	CN	0,0002	Silva et al. (2014)
Minas Gerais	Guanhães	18°50'00"	42°51'08"	CN	0,0001	Silva et al. (2014)
Espírito Santo	Aracruz	19°35'	20°15'	CN	0,007	Martins et al. (2011)
Espírito Santo	Aracruz	19°35'	20°15'	CN	0,017	Martins et al. (2011)
Espírito Santo	Aracruz	19°35'	20°15'	CN	0,0004	Martins et al. (2011)
Rio de Janeiro	Seropédica	22°46'45,13"	43°41'18,87"	CN	0,009	Eduardo et al. (2013)
Sul						
Paraná	Paranavaí	23°06'35,95"	52°23'43,54"	CS	0,008	Angulo (1983)
Paraná	Ponta Grossa	25°06'54,20"	50°15'12,11"	CN	0,022	Angulo (1983)
Paraná	Bela Vista do Paraíso	22°59'17,53"	51°10'24,45"	CN	0,026	Angulo (1983)
Paraná	Londrina	23°21'59,33"	51°09'59,53"	CS	0,023	Biscaia et al. (1981)
Paraná	Londrina	23°19'	51°19'	CS	0,025	Mondardo et al. (1978 citado por Silva et al., 2000)
Paraná	Rolândia	23°20'11,07"	51°21'19,64"	CN	0,026	Biscaia et al. (1981)
Paraná	Ponta Grossa	25°05'58"	50°09'30"	CN	0,0087	Jacobs (1995)
Paraná	Paranavaí	23°05'	52°27'32"	CN	0,0096	Jacobs (1995)
Santa Catarina	Chapecó	27°02'52,33"	52°43'02,87"	CN	0,016	Silva et al. (1997 citado por Silva et al., 2000)
Santa Catarina	Lages	27°47'13,17"	50°18'23,96"	CN	0,0151	Bertol et al. (2002)
Santa Catarina	Lages	27°47'13,17"	50°18'23,96"	CN	0,017	Schick et al. (2014)
Santa Catarina	Lages	27°49'	50°10'	CN	0,0175	Schick et al. (2014)
Santa Catarina	São Jose do Cerrito	27°43'42,20"	50°31'46,64"	CS	0,011	Bertol et al. (2007)
Santa Catarina	São José do Cerrito	28°55'	51°08'	CS	0,011	Bertol et al. (2007)
Rio Grande do Sul	Coxilha	28°11'44,77"	52°19'15,08"	CN	0,021	Denardin e Wünsche (1981)
Rio Grande do Sul	Eldorado do Sul	30°05'	51°39'	CN	0,0338	Cassol et al. (2018)

Continua...

Tabela 6. Continuação.

Estado	Município	Latitude (S)	Longitude (W)	Método ⁽¹⁾	Fator K	Citação
Rio Grande do Sul	Eldorado do Sul	441.400	6.661.000	CN	0,032	Denardin (1980)
Rio Grande do Sul	Eldorado do Sul	441.400	6.661.000	CN	0,0026	Silva et al. (2016)
Rio Grande do Sul	Ijuí	28°22'03,47"	53°57'55,19"	CN	0,009	Denardin (1980)
Rio Grande do Sul	Santa Maria	29°45'	53°42'	CN	0,033	Zufferey (1999 citado por Amado et al., 2002)
Rio Grande do Sul	Santo Ângelo	28°15'24,80"	54°10'58,00"	CN	0,0091	Cogo et al. (2003)

⁽¹⁾ CN = chuva natural; CS = chuva simulada.

Comparação com o mapa de erodibilidade de Godoi et al. (2021)

Para realizar a comparação entre o mapa aqui produzido e aquele de Godoi et al. (2021) os valores mínimo, médio e máximo do fator K estimado por nomograma por Godoi et al. (2021) foram extraídos para cada unidade de mapeamento do mapa de erodibilidade do solo produzido no trabalho. Após o que foram calculadas a diferença média, a diferença absoluta média e a raiz da diferença quadrática média (RMSD) entre o fator K do trabalho estimado em cada UM e o fator K médio estimado por Godoi et al. (2021) nas mesmas UM. Além disso, foi realizado teste t de Student para dados pareados (Student, 1908) a fim de comparar as médias do fator K entre os dois conjuntos de dados, ao intervalo de confiança de 95%.

O passo seguinte foi a conversão dos valores do fator K (Godoi et al., 2021) médios extraídos para as UM do mapa de erodibilidade para classes de fator K, utilizando os mesmos limites de classes aplicados no trabalho. Uma tabela de contingência (matriz de confusão) foi elaborada confrontando as classes de fator K do trabalho com as classes de fator K estimadas por Godoi et al. (2021) para as mesmas UM. A partir da tabela calculou-se o percentual de concordância. Além disso, aplicou-se o teste de correlação de Kendall (τ) (Kendall, 1938) para testar a correlação entre as categorias ordinais de fator K do trabalho e as categorias ordinais de fator K estimadas por Godoi et al. (2021) para as mesmas UM, ao intervalo de confiança de 95%.

Desenvolvimento

Avaliação semiquantitativa da erodibilidade dos solos do Brasil por classe de solo

A avaliação semiquantitativa da erodibilidade das principais classes de solos do Brasil, considerados até o 2º nível categórico do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2018) e avaliados segundo dados da legenda do mapa de solos do Brasil (IBGE, 2018), é apresentada na Figura 1. Observa-se que os solos avaliados como de maior erodibilidade foram os Planossolos Nátricos e Gleissolos Sálcos: enquanto o elevado gradiente textural e a textura predominantemente arenosa dos horizontes superficiais (horizontes E) nos primeiros são as causas da grande susceptibilidade à erosão, que também é favorecida pela baixa permeabilidade do horizonte B subsuperficial devido à alta concentração de sódio e seu efeito dispersante, nos Gleissolos Sálcos, as comuns (a) variação errática de textura em profundidade; (b) ausência de unidades estruturais ou agregados de suas camadas (estrutura maciça) subsuperficiais; e, sobretudo, (c) predominância de cátions monovalentes, especialmente o sódio (sódico ou solódico), associados aos sais, os tornam muito suscetíveis à erosão hídrica.

Godoi et al. (2021) ao determinaram o fator K para os solos do Brasil utilizando dados legados

de solo e aplicando-os ao nomograma proposto por Wischmeier et al. (1971) e ao modelo EPIC, encontraram que os Gleissolos dos estados do Acre e do Amazonas foram o grupo de solos que apresentaram a maior suscetibilidade à erosão devido, segundo os autores, ao seu mais elevado conteúdo de silte em relação a outras ordens de solo, o que associado a estrutura laminar e a drenagem impedida, resultou em elevada erodibilidade. Em vista do exposto, observa-se que os critérios para a parametrização da erodibilidade dos solos divergiram entre ambos os trabalhos: enquanto neste buscou avaliar, por meio do julgamento especialista, todos os atributos que o nome do solo ou sua classificação, avaliado até o nível de fase taxonômica segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (Santos et al., 2018), permitiu correlacionar os seus atributos ao próprio potencial erosivo, o de Godoi et al. (2021) generalizam dados (granulometria e conteúdo de carbono obtidos de 0 -30 cm de profundidade do SoilGrids) e informações (permeabilidade e estrutura) por ordens de solo, aplicando-os ao modelo USLE e EPIC.

É evidente que ambos os métodos apresentam muitas limitações e fontes de erro, a citar poucas delas: o julgamento especialista da erodibilidade, enquanto método científico qualitativo, é meramente subjetivo e, portanto, fortemente dependente, dentre outros fatores, do nível de conhecimento do pesquisador sobre o objeto de estudo, enquanto que a determinação quantitativa do fator K pelo nomograma da USLE, utilizado por Godoi et al. (2021), lança mão de inúmeros pressupostos e generalizações, como, por exemplo, o fato de considerar que 20% da fração areia total é de areia fina e que a estrutura superficial de todos os Gleissolos é laminar. Solos de planícies aluvionares, como os Gleissolos, estão dentre os de maior variabilidade espaço-temporal de seus atributos, incluindo granulometria e estrutura (tipo, tamanho e grau), a qual é magnificada em superfície, com variações tanto lateral como em profundidade, de tal forma que pressupostos, generalizações e extrapolações de resultados para esta classe de solo inevitavelmente estão associados a muitos erros.

Os Chernossolos, Planossolos Háplicos, Luvisolos e Vertissolos foram outras classes de solos que apresentaram valores altos e muito altos de erodibilidade (Figura 1). Isto se deve às restrições de drenagem muitas vezes encontradas nestes solos, com baixas taxas de infiltração de água (quando úmidos, no caso dos Vertissolos; Freebairn, et al., 1996), textura argilosa ou muito argilosa desde a superfície ou em profundidade, presença de

argila de atividade alta, mineralogia da argila tipo 2:1 de maior expansibilidade e maiores teores de silte na sua composição granulométrica em relação a maioria de outros solos, o que os caracteriza como solos menos intemperizados e, conseqüentemente, com menor estabilidade de agregados. Alguns desses solos ainda apresentam (Planossolos) ou podem apresentar (Chernossolos e Luvisolos) elevado gradiente textural (arenosa/argilosa) e mudança textural abrupta (Santos et al., 2018), atributos que também concorrem para a elevada erodibilidade (Megna et al., 2024). Estes resultados, em geral, concordam com aqueles apresentados por Albuquerque et al. (2000). Os autores encontraram maiores valores de erodibilidade em entressulcos em solos esmectícticos (argila 2:1) da classe dos Vertissolos, Planossolos e Chernossolos quando comparado a solos caulínícticos (argila 1:1) da classe dos Latossolos Vermelhos, atribuindo estes resultados ao menor grau de intemperismo e aos menores índices de estabilidade de agregados dos solos esmectícticos, em clima subtropical da região Sul do Brasil.

A Figura 1 também evidencia que os Espodosolos, Neossolos Quartzarênicos, Neossolos Regolíticos (predominantemente arenosos), também apresentaram elevada erodibilidade, porém, em função da textura arenosa e baixos teores de matéria orgânica, o que lhes confere menor soma de bases e presença de estrutura com fraco grau de desenvolvimento ou ausente (grãos simples), menor coesão entre partículas e baixos índices de estabilidade de agregados, tornando-os susceptíveis a desagregação e transporte de partículas pela ação da água, seja pelo impacto da gota de chuva ou pela ação tangencial do escoamento superficial sobre a superfície do solo. De fato, Bertol e Almeida (2000) argumentam que os solos arenosos, como os Neossolos Quartzarênicos, normalmente apresentam baixa resistência à erosão hídrica apesar da rápida drenagem de água no perfil e da elevada profundidade efetiva.

Em geral, os Latossolos e os Plintossolos Pétricos apresentaram valores muito baixos e baixos de erodibilidade, indicando serem estes solos os mais resistentes a desagregação e transporte pelos agentes erosivos. Isto se deve, em geral, aos seus atributos decorrentes do maior grau de intemperismo, com mineralogia da argila do tipo 1:1 caulínícticos ou gibbsícticos, podendo ainda conter conteúdos expressivos de óxidos de ferro, o que lhes confere alta estabilidade de agregados frente a ação da água (Denardin, 1980; Ferreira et al., 1999). De fato, a estabilidade dos agregados do solo é um fator chave que afeta a

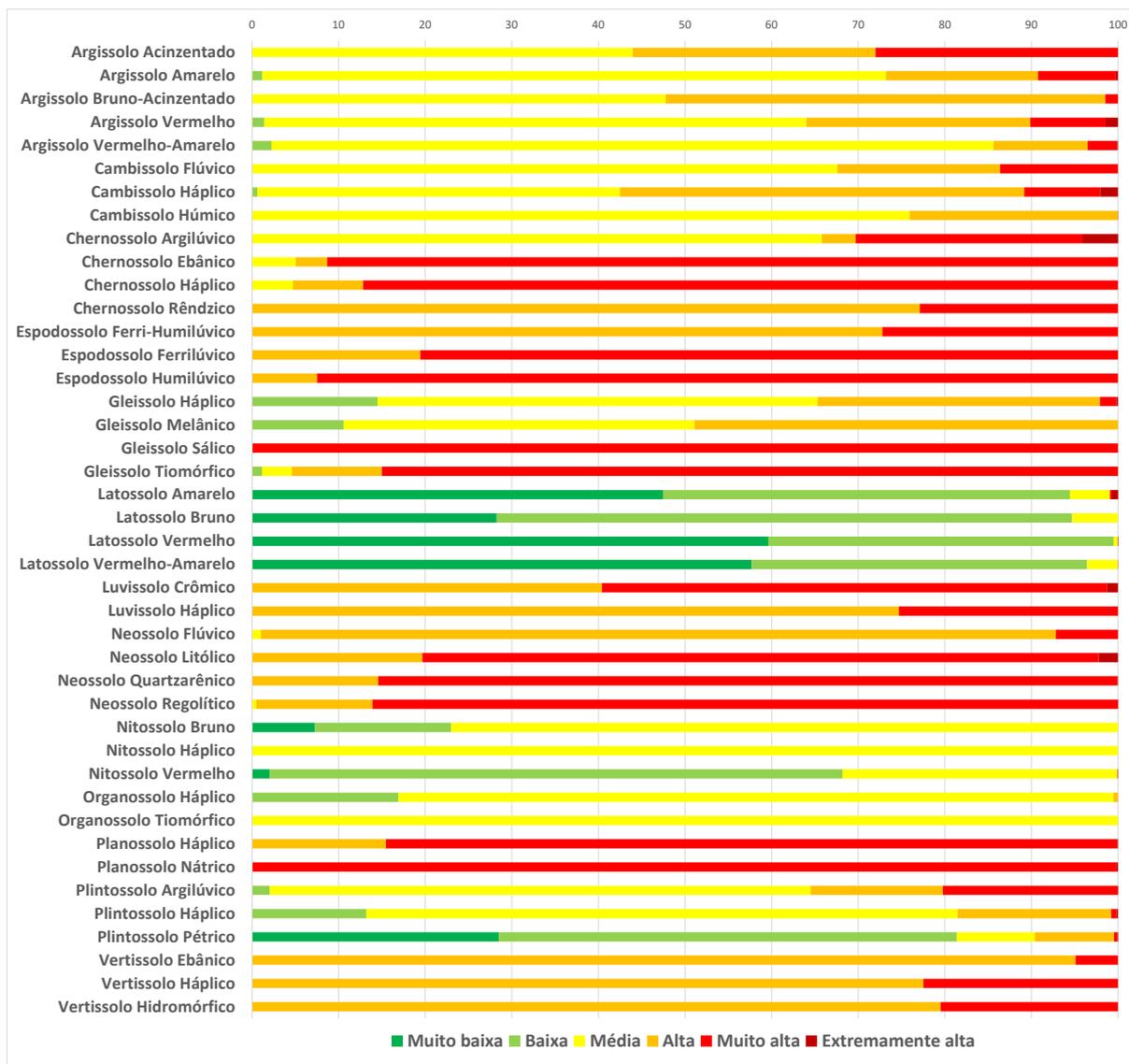


Figura 1. Percentual de área de ocorrência das classes de erodibilidade muito baixa, baixa, média, alta, muito alta e extremamente alta das principais classes de solos do Brasil, identificadas até o segundo nível categórico.

Fonte: Santos et al. (2018).

erosão do solo (Wu et al., 2023) de tal forma que solos que manifestam alto grau desse atributo têm sua erodibilidade consideravelmente reduzida (Bronick; Lal, 2005). A muito estável estrutura microgranular (pseudo-areia), comum nos Latossolos desde a superfície do solo (Martinez; Souza, 2020), concorrendo para sua elevada permeabilidade, e a presença de expressivos conteúdos de cascalhos e calhaus de petroplintita nos Plintossolos Pétricos, também se manifestando, muitas vezes, deste à superfície do solo (Almeida et al., 2023), tornam-os bastante resistentes aos processos erosivos lineares, embora a presença exclusiva de petroplintita nos primeiros centímetros superficiais do solo em alguns Plintossolos Pétricos, com pouco ou completa ausência de material terroso, geralmente é relacionada à erosão laminar (Almeida et al., 2023). De fato, Albuquerque

et al. (2005) encontraram que o baixo valor de erodibilidade determinado em experimento de longa duração sob chuva natural para solos (Luvissolos) considerados altamente erodíveis foi devido à presença de pavimento desértico, comuns em muitos solos do Nordeste do Brasil. Segundo os autores, os calhaus e matações de quartzo em superfície do Luvissolo estudado, os quais caracterizam o pavimento desértico, serviram como agente protetor, interceptando o impacto das gotas de chuva sobre o solo e, por conseguinte, interferindo diretamente no processo erosivo.

Embora os Latossolos tenham sido considerados os solos de maior resistência à erosão, também constatado por Godoi et al. (2021) ao modelar o mapa de erodibilidade dos solos do Brasil, há aqueles aqui classificados de erodibilidade extremamente

alta. Os Latossolos Amarelos são exemplos (Figura 1). Aqui optou-se por assim classificá-los, bem como a todos os demais componentes das UM de mesma classe de erodibilidade (extremamente alta), devido ao fato de serem identificados no mapa de solos do Brasil (IBGE, 2019) com fase erodida. Segundo Santos et al. (2018), a fase erodida engloba os solos que apresentam classe de erosão forte, muito forte e extremamente forte. Tais classes levam consideração, sobretudo, a porcentagem de remoção do horizonte superficial (horizonte A, incluindo AB ou A + E), a ocorrência e frequência de sulcos e voçorocas (Santos et al., 2015). Embora, provavelmente, fatores outros que não aqueles exclusivamente intrínsecos dos solos contribuam para torná-los fortemente suscetíveis à erosão, esse fato, a classificação de solos similares em classes de erodibilidade muito distintas entre si (exemplo, baixa e extremamente alta), evidenciam a complexidade tanto de avaliá-la (Wischmeier; Mannering, 1969; Veihe, 2002; Godoi et al., 2021), como de se avaliar os processos relacionados à erosão do solo (Poesen, 2018).

Avaliação semiquantitativa da erodibilidade do solo por unidade da federação

A distribuição das classes de erodibilidade do solo nas unidades federativas do Brasil é apresentada na Figura 2. Observa-se que os solos considerados de maior erodibilidade (classes de erodibilidade alta, muito alta e extremamente alta ocupando 50% ou mais da área do Estado) ocorrem no Acre, Alagoas, Ceará, Mato Grosso do Sul, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, e Sergipe, enquanto os de menor erodibilidade (classes muito baixa e baixa ocupando 50% ou mais da área do Estado) estão relacionados aos estados do Amapá, Espírito Santo e Goiás e ao Distrito Federal.

O predomínio de solos de elevada erodibilidade nos estados supracitados da região Nordeste (Alagoas, Ceará, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe) está relacionado, sobretudo, ao clima semiárido: o baixo regime pluviométrico,

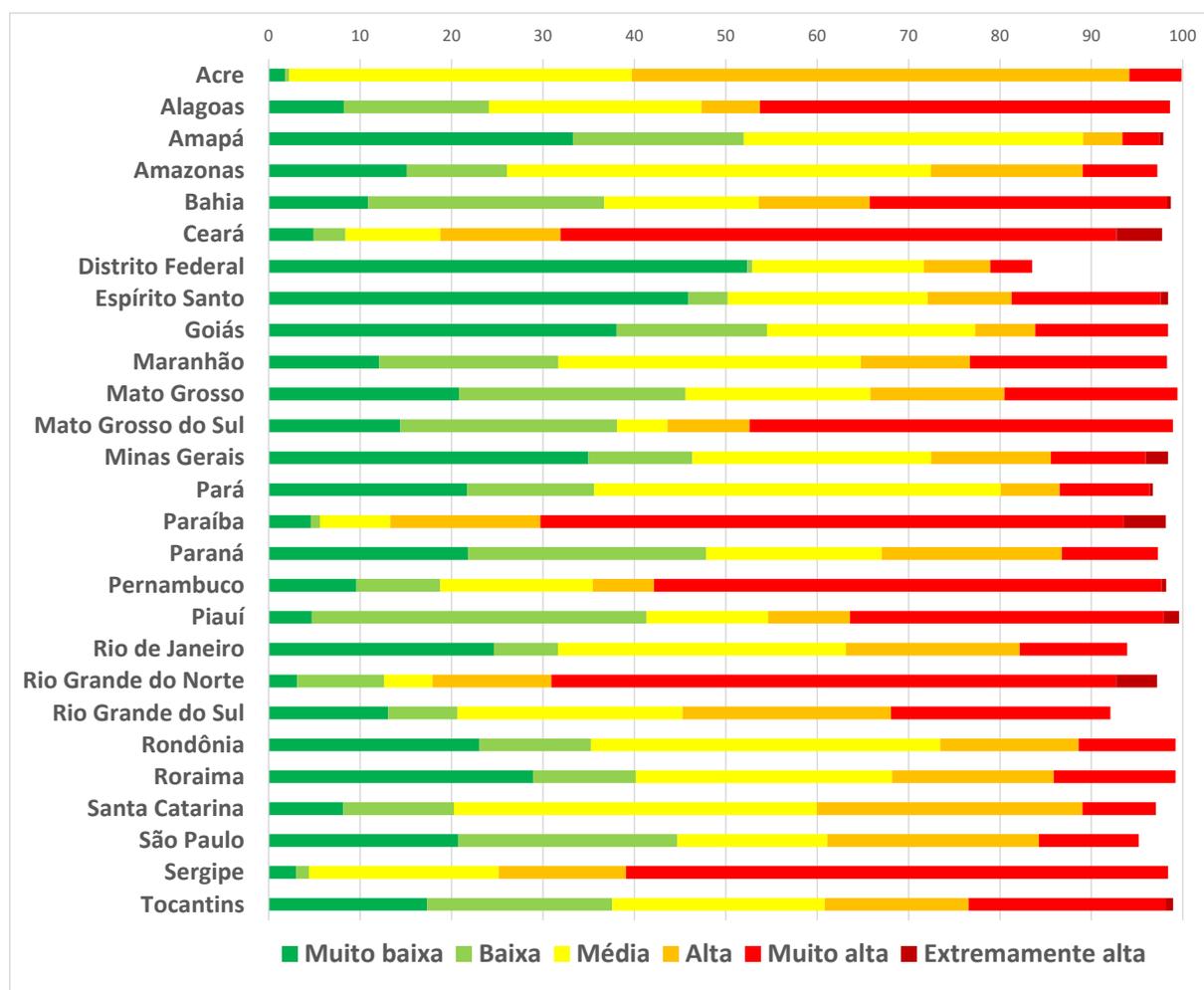


Figura 2. Distribuição percentual das classes de erodibilidade do solo nas unidades federativas do Brasil. Os valores omitidos que somariam 100% da área do país se referem às áreas urbanas, corpos d'água, afloramentos de rocha, dunas e praias.

as altas temperaturas, a insolação média de 2.800 horas por ano, a umidade relativa anual na faixa de 50% e precipitação média anual inferior a 800 mm, com irregularidade espacial e temporal das chuvas e ocorrência de anos secos consecutivos (Moura et al., 2019), resulta em baixas taxas de intemperismo e, conseqüentemente, presença de solos rasos, pedregosos, muitas vezes de textura arenosa, com baixos teores de matéria orgânica, elevados níveis de salinidade, com altos teores de sódio, embora, em alguns casos, de elevada fertilidade natural (Cunha et al., 2010).

Por outro lado, a elevada erodibilidade dos solos do Mato Grosso do Sul, situado na região Centro-Oeste do país, tem forte relação com o material de origem dos solos: aproximadamente metade do Estado, que compreende a sua porção oriental, é constituída por sedimentos e solos arenosos, originando terrenos altamente permeáveis, porém com alto potencial erosivo, alto potencial de arenização, alta vulnerabilidade à poluição de aquíferos subterrâneos e com deficiência de água superficial (Theodorovicz, 2010). Tais solos arenosos correspondem, sobretudo, aos Neossolos Quartzarênicos, que ocupam aproximadamente 25% do Estado (IBGE, 2019). A sua porção ocidental, por sua vez, é caracterizada pelas áreas baixas do Pantanal (Theodorovicz, 2010), cujos materiais de origem desempenham papel fundamental nos processos de formação dos solos (Nascimento et al., 2015). Nessas áreas, predominam Planossolos (Fernandes et al., 2007) nos quais o expressivo contraste textural geralmente está associado a processos pedogenéticos e geológicos/geomorfológicos relacionados à sedimentação fluvial (Oliveira Junior et al., 2017; Nascimento et al., 2013). Distribuem-se por aproximadamente 16% do estado do Mato Grosso do Sul (IBGE, 2019). Somados aos Neossolos Quartzarênicos, representam cerca de 41% do Estado (IBGE, 2019). Embora menos expressivos em extensão, os Vertissolos somam-se aos solos supracitados para embasar o argumento de se ter elevada ocorrência de solos mais facilmente erodíveis no Estado. Comparando-se a todos os demais estados brasileiros e ao Distrito Federal, essa classe de solo tem sua maior extensão territorial no Mato Grosso do Sul, estendendo-se por 5.478 km², o que corresponde a 1,5% da área do Estado (IBGE, 2019).

A predominância de Luvisolos (52,2%) e Argissolos (37,6%) no Acre, que somados ocupam aproximadamente 80% da área daquele Estado (IBGE, 2019), foram os principais responsáveis pela distribuição de suas classes de erodibilidade: 54% pertencem

à classe de erodibilidade alta, a maior porcentagem de área observada para essa classe de erodibilidade em relação aos demais Estados, e 38% à classe de erodibilidade média (Figura 2). Godoi et al. (2021) utilizando modelagem para estimar os valores do fator K a partir de dados legados de perfis de solo (8.888) do SoilGrids, aplicando-os ao nomograma da USLE e ao modelo EPIC, encontraram que os maiores valores obtidos para o fator K foram para solos do Estado do Amazonas e Acre, onde, segundo os autores, o conteúdo de silte alcançou os mais elevados valores em relação aos solos de outros estados brasileiros. De fato, vários trabalhos têm mostrado a elevada correlação positiva entre os conteúdos de silte e o fator K, atribuindo o fato à elevada suscetibilidade ao seu desprendimento pelas gotas de chuva e transporte por runoff (Vaezi et al., 2008).

A baixa erodibilidade dos solos dos estados do Amapá, Espírito Santo e Goiás e do Distrito Federal, por outro lado, está relacionada tanto a predominância absoluta dos Latossolos, ocupando acima de 48% da área daqueles Estados (IBGE, 2019), como a pequena ocorrência de solos de elevada erodibilidade, como os Neossolos Quartzarênicos, Planossolos, Luvisolos e Vertissolos. No Amapá, por exemplo, os Latossolos distribuem-se por 74,7% de sua área, enquanto que os solos supracitados e facilmente erodíveis representam menos que 0,3% daquele Estado (IBGE, 2019).

Avaliação semiquantitativa da erodibilidade do solo por Grandes Regiões

A distribuição das classes de erodibilidade do solo nas Grandes Regiões do Brasil é apresentada na Figura 3. Observa-se que os solos de maior erodibilidade (classes de erodibilidade alta, muito alta e extremamente alta) ocorrem na Região Nordeste (49%), seguida da Região Sul (40%), enquanto os de menor, (classes muito baixa e baixa) distribuem-se predominantemente nas Regiões Centro-Oeste (46%) e Sudeste (45%).

A Região Nordeste do Brasil, em razão da diversidade de climas, formações vegetais, tipos de rochas e conformações de relevo, apresenta uma grande diversidade de ambientes e, conseqüentemente, de solos, muitas vezes variando a curtas distâncias (Marques et al., 2014). Embora aproximadamente 31% dessa Região seja dominada por Latossolos, em geral de muito baixa e baixa erodibilidade e relacionados, sobretudo, às zonas de clima úmido (Coelho et al., 2002), é nela

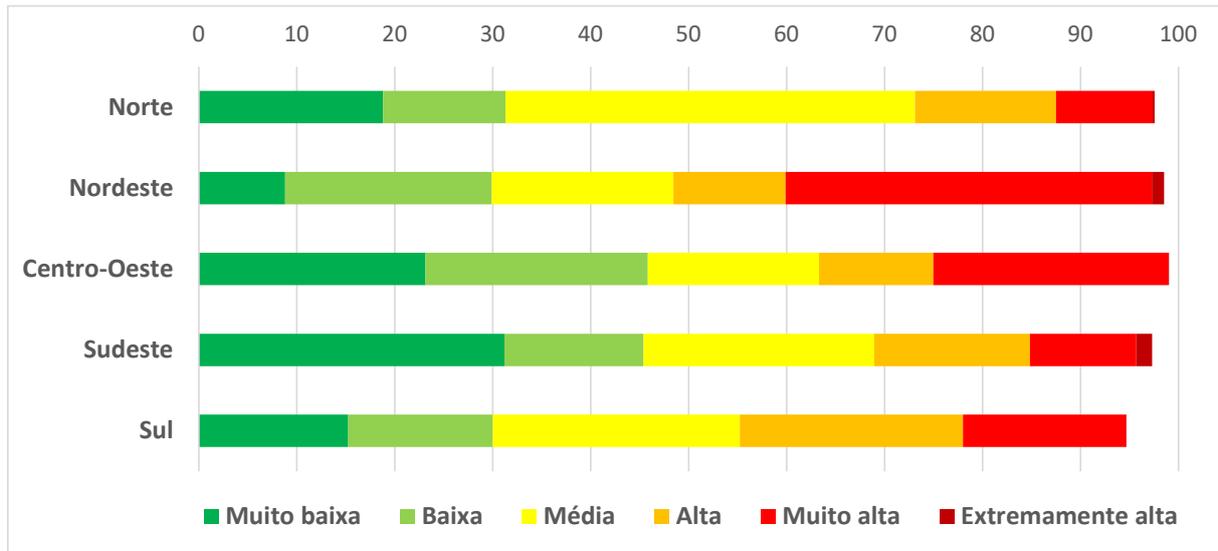


Figura 3. Distribuição percentual das classes de erodibilidade dos solos para as Grandes Regiões do Brasil. Os valores omitidos que somariam 100% da área do país se referem às áreas urbanas, corpos d'água, afloramentos de rocha, dunas e praias.

que se concentram as maiores porcentagens de Luvissolos (49,4%), Planossolos (48,7%), Chernossolos (38,4%) e Neossolos (33,0%) em relação às demais Regiões brasileiras (IBGE, 2019). A maioria desses solos estão relacionados ao clima semiárido e a vegetação de caatinga (Coelho et al., 2002), que ocupa cerca de 70% da região Nordeste (Souza, 1979; Kill, 2021), e cujos atributos intrínsecos, já discutidos anteriormente, convergiram para classificá-los como de elevada erodibilidade.

Na Região Sul, 30% das terras apresentam erodibilidade muito baixa e baixa, 25% média, sendo que as demais, que ocupam 45% da área, correspondem as de erodibilidade alta e muito alta. Essas estão relacionadas, sobretudo, a solos rasos e pouco profundos (Cambissolos e Neossolos Litólicos) ou arenosos em todo o perfil (Neossolos Quartzarênicos) ou em superfície (Argissolos com mudança textural abrupta) localizados nos terrenos sedimentares de relevos planálticos (Planalto Meridional, Planalto Atlântico e Depressão Periférica) da Região (Coelho et al., 2002; Moura-Bueno et al., 2024). De fato, os Neossolos só perdem em distribuição espacial para os Latossolos: enquanto os primeiros ocupam 21,3%, os Neossolos distribuem-se em 18,8% da Região Sul, cuja porcentagem de distribuição não difere muito em relação aos Cambissolos, que ocupam 17,4% das terras sulinas (IBGE, 2019). A esses solos de elevada erodibilidade (Neossolos e Cambissolos), somam-se os Planossolos, presentes, sobretudo, nas terras baixas do Rio Grande do Sul (várzeas, planícies litorânea e de inundação de rios e lagos), as quais ocupam

aproximadamente 20% da área do Estado, tal como afirma Silva (2018). Segundo esse autor, os Planossolos, juntamente aos Gleissolos, são os principais solos utilizados para a produção de arroz irrigado naquele Estado. Os primeiros ocupam 3,7% da Região Sul (IBGE, 2019).

É nas Regiões Centro-Oeste e Sudeste que solos profundos, permeáveis, bem drenados e de textura predominantemente argilosa e média, pertencentes à classe dos Latossolos, ocupam suas maiores extensões territoriais em relação as demais Regiões brasileiras (Coelho et al., 2002), distribuindo-se por 43,0% e 45,6% de suas áreas, respectivamente (IBGE, 2019). No Centro-Oeste estão relacionados ao Planalto Central Brasileiro, recobrimdo terrenos de relevo plano e suave ondulado e vegetação predominantemente de cerrado (Motta et al., 2002). Os Plintossolos, sobretudo os grandes grupos pétricos concrecionários, constituem outra classe de solos bastante expressivos naquela Região (Coelho et al., 2023) e que contribuem para identificar suas terras como de menor erodibilidade em relação às demais Regiões brasileiras. Os Plintossolos ocupam 7,4% do Centro-Oeste (IBGE, 2019), cuja Região concentra aproximadamente 28% dos solos desta classe do país (Coelho et al., 2023).

Para a Região Sudeste, os Latossolos ocupam expressivas áreas, inclusive nos domínios de rochas pré-cambrianas do embasamento cristalino, onde predomina relevo acidentado, como nas Serras e Planaltos do Leste e Sudeste. Nessa região, denominada por Ab'Saber (1970) de Mares de Morros, há predominância de Argissolos, Latossolos e Cambissolos (Coelho et al., 2002). Na Região Sudeste,

os Mares de Morros envolvem predominantemente o Leste do Estado de São Paulo, o Sul e o Leste de Minas Gerais, o Estado do Rio de Janeiro e a maior parte do Espírito Santo (Ab'Saber, 1996).

A unidade geotectônica da Bacia do Paraná é de ocorrência expressiva do Sudeste. Nesse ambiente predominam os arenitos cretácicos do Grupo Bauru, que ocupam aproximadamente 40% do estado de São Paulo, sobretudo na sua porção Centro-Oeste, bem como a Oeste de Minas Gerais (Triângulo Mineiro), muitos deles com cimentos e nódulos carbonáticos (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1981). Uma relação solo-paisagem comum nessa região é a presença de Latossolos de textura média e de baixa fertilidade natural nos topos de relevos aplainados em colinas médias, transicionando para Argissolos de textura arenosa/média ou arenosa/argilosa e melhor fertilidade natural nas vertentes de perfis convexos e relevo ondulado à medida que se caminha para o talvegue dos interflúvios (Coelho et al., 2002). Esses Argissolos se caracterizam por um manto arenoso superficial, geralmente transicionando abruptamente para um horizonte inferior de textura média, às vezes argilosa, o que lhes imprime elevada suscetibilidade aos processos erosivos lineares, sendo comuns o desenvolvimento de ravinas e voçorocas com pouco tempo de uso (Salomão, 1994). Tais solos, geralmente classificados como Argissolos Vermelho-Amarelos Eutróficos abruptos (Santos et al., 2018), foram identificados no presente trabalho na classe de erodibilidade muito alta, contribuindo para que 11% das áreas da Região Sudeste tenham sido classificadas nessa classe de erodibilidade (Figura 3).

Os derrames vulcânicos e intrusões de rochas básicas e alcalinas da Bacia do Paraná relacionados à Formação Serra Geral, constituem outro grande domínio litológico do Sudeste. No estado de São Paulo estão localizados, sobretudo, na província geomorfológica denominada por Almeida (1964) de Depressão Periférica Paulista. Latossolos, Argissolos e Nitossolos, todos Vermelhos e com elevados conteúdos de óxidos de ferro (fêrricos) e de fertilidade variada, são os solos predominantes originados do intemperismo de basalto e diabásio (Coelho et al., 2002). Especificamente, os Latossolos Vermelhos, argilosos, profundos, muito porosos e com conteúdo de óxidos de ferro ≥ 180 g kg⁻¹ ocupam aproximadamente 9% do estado de São Paulo (Rossi; Kanashiro, 2022). O elevado grau de flocculação de suas argilas e sua elevada taxa de permeabilidade, comparativamente a outras classes de solos, minimizam as perdas de solo quando se encontram saturados (Aquino et al., 2013).

Os Argissolos dominam na Região Norte (IBGE, 2019), os quais ocupam 41% de sua área (IBGE, 2019). Devido à sua grande diversidade de atributos (Coelho et al., 2002; Santos et al., 2018), apresentam diferentes potenciais erosivos (Rossi et al., 2022) e valores do fator K (Marques et al., 1997b), sendo tanto mais elevados quanto mais pronunciado é a manifestação do gradiente textural (Rossi et al., 2022), do conteúdo de areia e de camadas de baixa porosidade e permeabilidade (fragipã, saprolito) ou de baixo grau de estruturação (saprolito) próximas à superfície. Ao se considerar, sobretudo, tais atributos, a grande maioria dos Argissolos do Norte e de todo o Brasil foi aqui classificada na classe de erodibilidade média, seguida da alta, embora varie de baixa até a extremamente alta. Em decorrência, a predominância da classe média de erodibilidade para essa Região (Figura 3), ocupando 42% de sua área, é consequência, sobretudo, da presença expressiva de Argissolos, que também contribuem para a classe de erodibilidade alta. Essa distribui-se por 14% da Região Norte (Figura 3).

Ao lado dos Argissolos (41%), Gleissolos (7,5%) e Plintossolos (5,7%) se somaram para definir a classe de erodibilidade alta, enquanto que os Espodossolos (3,6%), os Neossolos Quartzarênicos (4,5%) e Litólicos (3,4%), que juntos representam 11,5% da Região Norte (IBGE, 2019), são as principais classes de solos que imprimiram a classe de erodibilidade muito alta para aquela Região. Embora os Espodossolos ocorrem em todas as Regiões brasileiras, é no Norte que se encontram suas maiores extensões e áreas contínuas, sobretudo na região conhecida como Cabeça do Cachorro, situada no extremo noroeste do Brasil, município de São Gabriel da Cachoeira, estado do Amazonas. De fato, segundo o IBGE (2019), 93,8% da área total de Espodossolos existentes no país se concentram na Região Norte.

Os Latossolos, por outro lado, sobretudo os de textura argilosa, são os principais solos responsáveis pela expressão das classes de erodibilidade muito baixa (19%) e baixa (13%), que somadas perfazem 32% da área da Região Norte (Figura 3). Os Latossolos representam 29,6% da área dessa Região e englobam 39,6% dos solos desta classe existentes em todo o país (IBGE, 2019).

Avaliação semiquantitativa da erodibilidade do solo no Brasil

A Figura 4 mostra o percentual de distribuição das classes de erodibilidade do solo para todo o

Brasil e a Tabela 7, a área de ocorrência por tipo de solo para o país, segundo suas Grandes Regiões. Devido à Região Norte representar 45,27% do país, espera-se maior similaridade desta em relação à demais Regiões quando comparamos a distribuição de suas classes de erodibilidade a de todo o território brasileiro. De fato, isso acontece (Figuras 3 e 4): a classe de erodibilidade média predomina no Brasil, tal como naquela Região (Figura 3), ocupando aproximadamente 30% de sua área (Figura 4), enquanto a soma das classes muita baixa e baixa (35% e 32% respectivamente para o Brasil e Região Norte) se sobrepõem à soma das classes alta, muito alta e extremamente alta (32% e 24%, respectivamente para o Brasil e Região Norte). Esses resultados refletem, sobretudo, a predominância de Latossolos (33,6%) e Argissolos (28,7%) no país (Tabela 7), tal como argumentado para a Região Norte, os quais somados ocupam 62,3% das terras brasileiras (IBGE, 2018): enquanto os primeiros foram classificados predominantemente nas classes de erodibilidade muito baixa e baixa, os Argissolos foram na classe média, embora ambas tenham sido classificadas em todas as demais classes de erodibilidade, fato já argumentado para os Argissolos.

As maiores diferenças, no entanto, entre a Região Norte e o Brasil em relação à percentagem de ocorrência das classes de erodibilidade se dá para as classes média e muito alta (Figuras 4 e 5). Novamente, a maior área ocupada pelos Argissolos na Região Norte em relação aos Latossolos (Tabela 7) contribuiu para a maiores porcentagens da classe de erodibilidade média naquela Região em relação ao país, enquanto solos geralmente mais suscetíveis à erosão, como Neossolos, Cambissolos,

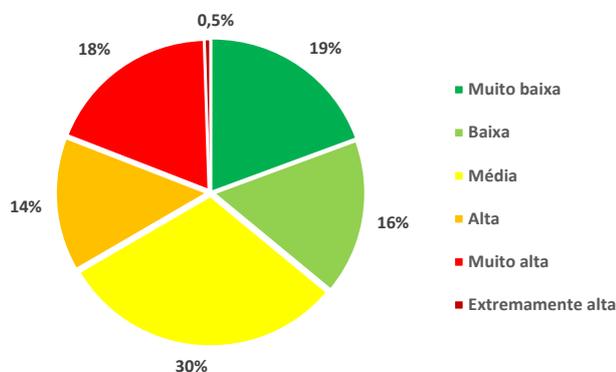


Figura 4. Distribuição percentual das classes de erodibilidade dos solos do Brasil (não foram computadas áreas urbanas, corpos d'água, afloramentos de rocha, dunas e praias)

Chernossolos, Planossolos e Vertissolos, que ocupam percentagens territoriais muito superiores no Brasil em relação à Região Norte (Tabela 7), são os responsáveis pela diferença observada para a classe de erodibilidade muito alta.

Fator K no Brasil: distribuição espacial e sua relação com a erodibilidade do solo dos biomas brasileiros

Na Figura 5 é apresentado o mapa de erodibilidade dos solos do Brasil, que também pode ser acessado na Infraestrutura de Dados Espaciais da Embrapa (GeoInfo¹).

Segundo a metodologia aqui utilizada, a qual lançou mão dos intervalos definidos por Mannigel et al. (2002), os valores de K variaram entre 0,0020 e 0,1100 t ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹, diferindo daqueles modelados e encontrados por Godoi et al. (2021) para o Brasil, que variaram de 0,0002 a 0,0636 Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹, com um valor médio de 0,0181 Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹. Segundo esses autores, a erodibilidade dos solos do Brasil é menor que os da Europa e dos Estados Unidos, mas maior em relação aos solos chineses. O fator K médio aqui encontrado foi de 0,0241 Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹. Assim, ambos os trabalhos enquadraram os solos do Brasil na classe de erodibilidade média, seguindo a relação proposta por Mannigel et al. (2002) entre os intervalos de fator K e as classes de erodibilidade (Tabela 5).

A Tabela 8 mostra o percentual de distribuição das classes de erodibilidade nos biomas brasileiros obtidos no escopo deste trabalho. Os solos do Pantanal foram os de maior potencial erosivo, seguidos pelos da Caatinga e Pampa. Esses resultados coadunam ora com a ocorrência de solos de elevada erodibilidade (elevado fator K), reconhecidos, amplamente avaliados e relatados na literatura como tal, ora com os mais emblemáticos problemas atuais de degradação das terras, amplamente divulgados na mídia e estudados no Brasil, e cujas discussões remontam desde a década de 1970: a arenização e a desertificação. De fato, os principais solos do Pantanal são os Planossolos Nátricos (23%), Plintossolos (21%), Espodosolos Ferrilúvicos (19%), Planossolos Háplicos (11,8%), Gleissolos (11,7%) e Vertissolos (5,8%) (Couto et al., 2023), que somados distribuem-se por aproximadamente 85% daquele bioma. As inúmeras justificativas para o bem estudado elevado potencial erosivo desses solos foram amplamente relatadas nesse trabalho, baseando-se na literatura.

¹Disponível em: <https://geoinfo.dados.embrapa.br/catalogue/#/dataset/6340>

Tabela 7. Área de ocorrência e distribuição percentual dos tipos de solo para o Brasil e suas Grandes Regiões.

Classes de solo e tipos de terreno	Brasil		Norte		Nordeste		Centro-Oeste		Sudeste		Sul	
	Área (km ²)	Percentual (%)										
Argissolos	2.390.473	28,7	1.538.674	41,0	269.853	17,6	243.434	15,3	242.420	26,9	96.092	17,5
Cambissolos	437.262	5,2	41.997	1,1	46.807	3,1	116.493	7,3	136.739	15,2	95.226	17,4
Chernossolos	27.473	0,3	153	0,0	10.556	0,7	4.364	0,3	611	0,1	11.790	2,2
Espodossolos	144.686	1,7	135.658	3,6	3.454	0,2	27	0,0	3.055	0,3	2.493	0,5
Gleissolos	369.119	4,4	282.886	7,5	24.966	1,6	41.252	2,6	8.668	1,0	11.347	2,1
Latossolos	2.799.703	33,6	1.110.329	29,6	477.073	31,1	685.092	43,0	410.542	45,6	116.667	21,3
Luvissolos	238.480	2,9	112.370	3,0	117.930	7,7	0	0,0	2.447	0,3	5.732	1,0
Neossolos	1.138.360	13,7	290.437	7,7	375.272	24,5	292.150	18,3	77.184	8,6	103.318	18,8
Nitossolos	111.058	1,3	16.739	0,4	7.079	0,5	6.138	0,4	7.824	0,9	73.278	13,4
Organossolos	6.753	0,1	8	0,0	122	0,0	3.233	0,2	1.217	0,1	2.173	0,4
Planossolos	196.377	2,4	4.968	0,1	95.632	6,2	72.998	4,6	1.524	0,2	21.255	3,9
Plintossolos	426.482	5,1	212.490	5,7	91.189	6,0	117.498	7,4	821	0,1	4.484	0,8
Vertissolos	19.261	0,2	0	0,0	8.829	0,6	8.590	0,5	11	0,0	1.831	0,3
Outros	25.328	0,3	9.862	0,3	3.330	0,2	2.409	0,2	7.219	0,8	2.508	0,5

Fonte: IBGE (2019).

Tabela 8. Distribuição percentual das classes de erodibilidade dos solos para os biomas brasileiros

Bioma	Classe de erodibilidade					
	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta	Extremamente alta
(%)						
Amazônia	19	14	41	14	10	0
Caatinga	7	16	13	12	49	2
Cerrado	22	25	17	12	22	1
Mata Atlântica	26	14	27	18	11	0
Pampa	11	7	20	22	30	0
Pantanal	1	1	14	18	64	0

Os intensos processos erosivos que levaram à degradação do solo e ambiental nas áreas sujeitas à desertificação nas regiões semiáridas e subúmidas secas do Nordeste, e sujeitas à arenização, sobretudo no sudoeste do Rio Grande do Sul, são oriundos da interação complexa de um conjunto de fatores naturais e antrópicos (Suertegaray et al., 2001, 2012; Viero; Silva, 2010; Landim et al., 2011). Dentre os naturais, os tipos de solo desempenham papel chave: Neossolos Quartzarênicos Órticos típicos e Latossolos Vermelhos Distróficos de textura arenosa/média (areia franca/francoarenosa), por exemplo, predominam na região sudoeste do Rio Grande do Sul e são originários do intemperismo de arenitos das formações Botucatu e Guará (Streck et al., 2008). São solos com elevado conteúdo de areia, com fraca ou inexistente coesão entre partículas, baixas fertilidade natural e capacidade de reter umidade, o que favorece o desenvolvimento de uma vegetação de campo rala e esparsa, tal como afirma Viero (2010). Segundo a autora,

O fator preponderante que propicia o estabelecimento dos processos de degradação é a perda da cobertura vegetal, expondo o material arenoso à incidência dos agentes erosivos (Viero, 2010, p. 171).

O município de Gilbués, localizado no sudoeste do estado do Piauí, é considerado um dos quatro núcleos de desertificação da região Nordeste do Brasil (Brasil, 2004; Santana, 2007). Trata-se de outro exemplo da existência de solos altamente erodíveis (alto fator K), que estão associados e contribuem para a degradação ambiental da região: Plintossolo Argilúvico Distrófico abrupto, Cambissolo Háptico Ta Eutrófico, Nitossolo Litólico Eutrófico fragmentário (dois perfis), Plintossolo Háptico Eutrófico vertissólico e Luvisso Crômico Pálico vertissólico foram descritos e amostrados por Valladares et al. (2020) em uma topossequência/

litossequência típica da região. Segundo os autores, o predomínio de argila de atividade alta associado a elevada relação silte/argila na maior parte dos perfis de solos estudados, explicaram o alto grau de degradação dos solos no núcleo de desertificação de Gilbués. Ao calcular o fator K utilizando a equação da USLE de Wischmeier e Smith (1978), os autores encontraram os seguintes valores para os respectivos solos supracitados: 0,020 (Plintossolo Argilúvico), 0,021 (Cambissolo Háptico), 0,045 (Neossolo Litólico), 0,030 (Neossolo Litólico), 0,059 (Plintossolo Háptico) e 0,053 (Luvisso Crômico) $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, classificando os dois primeiros como de erodibilidade moderada e os demais, muito forte.

A Tabela 9 mostra a distribuição das classes de solo (IBGE, 2019) dos núcleos de desertificação da região Nordeste (Brasil, 2004; Viero; Silva, 2010; Desertificação [...], 2016) e seus respectivos valores K obtidos neste trabalho. Observa-se a predominância de solos aqui considerados altamente erodíveis, como os Luvisolos, Planossolos e Neossolos Litólicos que, somados, perfazem 58,49% da área, acumulando evidências do papel e relevância dos solos (e de seus atributos intrínsecos) no desencadeamento dos processos erosivos e de desertificação. Dentre esses solos, Valladares et al. (2020), já supracitados, obtiveram o maior valor do fator K para os Luvisolos, de 0,053 $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$; valor esse bastante próximo ao aqui estimado (0,051 $\text{Mg ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) para os Luvisolos Crômicos dos núcleos de desertificação da região Nordeste, os quais predominam em extensão (Tabela 9).

Comparação com o trabalho de Godoi et al. (2021)

A estreita relação supracitada entre os tipos de solo, sua erodibilidade e as mais expoentes áreas

Tabela 9. Distribuição percentual das principais classes de solo, mostradas até segundo nível categórico dos núcleos de desertificação do nordeste brasileiro e seus respectivos valores de fator K.

Classe de solo	Área	Percentual	Fator K
	km ²	%	Mg ha h ha ⁻¹ MJ ⁻¹ mm ⁻¹
Cambissolo Háplico	807.176	11,23	0,046
Plintossolo Pétrico	61.608	0,86	0,025
Plintossolo Argilúvico	91.102	1,27	0,026
Gleissolo Melânico	1.442	0,02	0,034
Gleissolo Háplico	245	0,003	0,035
Gleissolo Sáfico	61	0,001	0,052
Latossolo Amarelo	359.513	5,00	0,017
Latossolo Vermelho-Amarelo	272.665	3,79	0,018
Latossolo Vermelho	157.379	2,19	0,021
Chernossolo Rêndzico	601	0,01	0,050
Chernossolo Argilúvico	7.175	0,10	0,052
Nitossolo Vermelho	1.016	0,01	0,027
Argissolo Amarelo	16.822	0,23	0,036
Argissolo Vermelho-Amarelo	391.414	5,44	0,038
Argissolo Vermelho	212.954	2,96	0,058
Neossolo Litólico	1.193.980	16,61	0,043
Neossolo Quartzarênico	349.246	4,86	0,048
Neossolo Regolítico	111.215	1,55	0,048
Neossolo Flúvico	12.583	0,18	0,047
Planossolo Nátrico	396.313	5,51	0,049
Planossolo Háplico	953.878	13,27	0,052
Luvissolo Crômico	1.660.771	23,10	0,051
Vertissolo Ebânico	9.140	0,13	0,044
Vertissolo Háplico	121.199	1,69	0,045
Total	807.176	11,23	0,044

Em negrito, os solos de maior potencial erosivo e que ocupam as maiores extensões territoriais nas áreas em questão.

Fonte: Viero e Silva (2010) e IBGE (2019).

do Brasil atualmente submetidas à degradação de suas terras e fortemente afligidas por processos erosivos, pode ser considerada como uma forma de validação e deve ser levada em consideração na comparação entre os mapas: os núcleos de desertificação, por exemplo, apresentam elevados valores de erodibilidade (Tabela 9), estando entre os mais elevados do país. No entanto, fatores antrópicos desencadearam ou aceleraram esses processos erosivos. Assim, é possível que outras grandes extensões de terra no país, com pouca interferência antrópica ou ainda não submetidas a

uso intensivo do solo, apresentem elevado potencial de erodibilidade. Godoi et al. (2021), ao mapearem a erodibilidade dos solos do Brasil, encontraram que as áreas mais críticas em termos de potencial erosivo, as quais estão associadas aos grupos de solos de maior suscetibilidade à erosão, situam-se ao oeste da região Norte, englobando expressivas e contínuas áreas do estado do Acre e da região central do estado amazonense. Tal com argumentamos anteriormente, os autores afirmaram que o maior conteúdo de silte desses solos em relação aos do restante do país contribuiu para esse

resultado. Em nosso trabalho, extensas e contínuas áreas do estado acreano, estendendo-se para além da divisa com o estado do Amazonas, foram enquadradas como de erodibilidade alta, mas não foram as maiores do país: extensas áreas do Nordeste e do Mato Grosso do Sul são as que concentraram as maiores extensões de solos de elevada erodibilidade do Brasil (Figura 5). As razões para tal foram amplamente discutidas nos itens precedentes. No entanto, baseado em nossos resultados, valem os comentários de Godoi et al. (2021) para as extensas áreas da região Norte que apresentam elevada erodibilidade, sobretudo para o estado acreano (Figura 5): devido estarem com expressivas áreas ainda cobertas com a floresta original, que mitiga os efeitos erosivos das chuvas intensas, a manutenção da cobertura florestal protetiva e a implementação de práticas conservacionistas naquelas sob uso, são estratégias fundamentais para preservar a saúde do solo e ambiental naquelas áreas.

As diferenças supracitadas entre os mapas, facilmente observadas ao compará-los visualmente, são corroboradas pelas análises estatísticas: houve diferença significativa pelo teste t de Student ($p < 0,05$) entre as médias do fator K estimadas e supramencionadas, 0,018 e 0,024 Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm¹, obtidas por este trabalho e por Godoi et al. (2021), respectivamente. Esses valores médios estatisticamente diferentes evidenciam que o nosso mapa, em média, superestimou os valores de K em relação ao de Godoi et al. (2021). Quando comparamos os mapas ao se converter os valores de K em classes de erodibilidade, houve correlação entre ambos pelo teste de Kendall ($p < 0,05$), com percentual de concordância de 32%. Em geral, os solos deste trabalho foram alocados na mesma classe de erodibilidade ou em uma classe de maior erodibilidade em relação aos solos de Godoi et al. (2021), sendo que isso ocorreu de maneira sistemática (Tabela 10).

Validação externa do mapa de erodibilidade do solo

Os valores do fator K estimados por este trabalho e os valores de K extraídos de trabalhos da literatura que os mediram diretamente em campo apresentaram medianas (0,012 e 0,011 Mg ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm¹, respectivamente) significativamente iguais pelo teste de Wilcoxon ($p = 0,40$). No entanto, quando convertidos para classes de erodibilidade, os valores do fator K dos dados obtidos em campo não foram correlacionados significativamente com os deste trabalho pelo teste de Kendall ($p = 0,11$), concordando

Tabela 10. Tabela de contingência de classes de erodibilidade do mapa de erodibilidade gerado no escopo deste trabalho contra o mapa de erodibilidade de Godoi et al. (2021) estimado pelo método nomográfico.

Classe de erodibilidade deste trabalho ⁽¹⁾	Classe de erodibilidade, segundo Godoi et al. (2021) ⁽¹⁾					
	MB	B	M	A	MA	EA
MB	49	363	280	1	0	0
B	47	652	808	6	0	0
M	46	653	1824	29	0	0
A	27	389	1718	47	0	0
MA	3	109	976	7	0	0
EA	0	8	33	0	0	0

⁽¹⁾ MB = muito baixa; B = baixa; M = média; A = alta; MA = muito alta

As classes de erodibilidade foram obtidas a partir dos valores médios dos valores de K das unidades de mapeamento de cada mapa.

Fonte: Godoi et al. (2021).

somente em 26% dos casos. Isso significa que, apesar das medianas serem estatisticamente iguais, não houve uma forte correlação entre os dados de K medidos em campo e os dados do nosso mapa.

Algumas questões contribuíram para os resultados supracitados: imprecisão das coordenadas geográficas dos trabalhos utilizados para validação, obtidas em períodos de indisponibilidade de equipamentos de GPS, dificultando ou impedindo o georreferenciamento preciso dos pontos de validação; a discrepância entre o suporte espacial do mapa de erodibilidade (tamanho dos polígonos) e o suporte pontual dos dados de validação (parcelas experimentais com menos de 25 m de comprimento); a escala do nosso mapa (1:500.000), cuja unidade mínima mapeável não permite a resolução de fenômenos locais, sendo, inclusive, de dimensão muito superior em relação às parcelas de medição de perdas de solo e água; imprecisão tanto da classificação de solo das parcelas experimentais como dos polígonos do mapa de solos. Esses fatores são fortes indutores de erros por ocasião da comparação entre os valores do fator K medidos diretamente em campo e aqueles estimados a partir do mapa de solos, já que há grande possibilidade de não haver concordância entre as classes de solo. Em outras palavras, utilizar medições do fator K realizadas em campo em parcelas de perdas de solo e água a fim de validar um mapa de erodibilidade de um país com dimensões continentais, e ainda em uma escala generalizada (1:500.000), como é o caso do presente trabalho, apresenta uma série de limitações,

muitas delas intransponíveis. Devido a isso, os resultados de validação devem ser interpretados com cautela. No entanto, os valores do fator K deste trabalho foram razoavelmente estimados, ou seja, estão próximos à realidade medida no campo em termos absolutos, pois apresentaram medianas estatisticamente semelhantes entre si.

Considerações finais

A interpretação especialista dos solos componentes das UM do mapa de solos do Brasil a fim de se obter índices semiquantitativos de classes de erodibilidade ou de suscetibilidade à erosão não é novidade no país. Rossi et al. (2022), por exemplo, utilizaram recentemente o mesmo procedimento para os solos do estado de São Paulo lançando mão do mapa daquele Estado, o qual contém informações mais detalhadas em relação ao que aqui utilizamos.

A conversão dos valores semiquantitativos em valores do fator K, segundo o procedimento aqui adotado, foi uma estratégia simples e experimental para estimar a erodibilidade do solo para todo o território brasileiro. Assim, não se recomenda utilizar, para os mais diversos fins, os valores numéricos do fator K sem a devida cautela, mas sim utilizar as classes de erodibilidade apresentadas no mapa (muito baixa, baixa, média, alta, muito alta e extremamente alta), as quais foram o resultado da interpretação especialista, que estabeleceu a relação entre a erodibilidade dos solos e sua ocorrência nos diversos componentes das UM do mapa de solos do Brasil.

Quando o interesse for pelo fator K, recomenda-se utilizar suas faixas de valores, dividindo-as em três classes: baixa ($< 0,0150 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), média ($0,0150 \leq \text{fator k} < 0,0300 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) e alta ($\geq 0,0300 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), as quais podem proporcionar uma valiosa, mais precisa e adequada informação para muitos modelos que desejam utilizá-los como covariável ambiental para os mais diversos fins.

Tal como também encontrado no trabalho de Godoi et al. (2021), que produziu o mapa de erodibilidade do Brasil pelo método original do nomograma, os Latossolos foram os solos menos suscetíveis à erosão e, em geral, o Brasil tem seus solos enquadrados na classe de erodibilidade média (36% do território). No entanto, não houve concordância entre os mapas com relação as

áreas mais vulneráveis à erosão: enquanto, neste trabalho, as maiores extensões contínuas de solos mais erodíveis se concentram na região Nordeste e no Pantanal, é no oeste da região Norte (parte dos estados do Acre e Amazonas) que estão os solos mais suscetíveis à erosão, segundo Godoi et al. (2021). Essas diferenças, facilmente visualizadas quando comparamos os mapas, foram corroboradas pelas análises estatísticas: houve diferença significativa entre as médias dos valores do fator K estimados entre os mapas, sendo o fator K, em média, maior no presente trabalho, embora estejam correlacionados quando se comparam as classes de erodibilidade. Em geral, o mapa aqui produzido superestimou tanto os dados medidos em campo (medidas diretas) como as classes de erodibilidade em relação ao mapa de Godoi et al. (2021), sendo que, os solos deste trabalho ou foram alocados na mesma classe de erodibilidade ou em uma classe superior, concordando em 32% dos casos na comparação entre os mapas.

Os dados e informações de erodibilidade apresentados demonstram o potencial natural dos solos à erosão hídrica. Utilizando os solos de acordo com o seu potencial produtivo e implementando práticas mecânicas e/ou vegetativas de controle de erosão, pode-se mitigar o efeito erosivo das chuvas naqueles de elevada erodibilidade, obtendo-se bons e sustentáveis rendimentos agropecuários sem que haja a degradação do solo e ambiental. Por outro lado, solos aqui considerados de baixo potencial erosivo podem sucumbir à erosão e à degradação quando mal manejados.

Salienta-se que aqui que, comparativamente ao mapa de Godoi et al. (2021), disponibilizado em formato matricial, o presente mapa é mais vantajoso aos potenciais usuários que também intencionam utilizar o mapa de solos do IBGE para os mais diversos fins: ambos estão em formato vetorial (shapefile), sendo que o presente pode ser unido diretamente ao mapa de solos do IBGE do qual foi derivado, existindo, para isso, campos na tabela de atributos de nosso mapa para a identificação das UM originais do mapa do IBGE.

Referências

- AB'SABER, A. N. Domínios morfoclimáticos e solos do Brasil. In: ALVAREZ V., V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. (ed.). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo: Universidade Federal de Viçosa, 1996. p. 1-18.
- AB'SABER, A. N. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. **Geomorfologia**, n. 20, p. 1-26, 1970. Disponível em: https://biblio.fflch.usp.br/AbSaber_AN_1348920_ProvinciasGeologicas.pdf. Acesso em: 30 out. 2024.
- ALBUQUERQUE, A. W. de; MOURA FILHO, G.; SANTOS, J. R.; COSTA, J. P. V.; SOUZA, J. L. Determinação de fatores da equação universal de perda de solo em Sumé, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 2, p. 153-160, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662005000200001>.
- ALBUQUERQUE, J. A.; CASSOL, E. A.; REINERT, D. J. Relação entre a erodibilidade em entressulcos e estabilidade de agregados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, p. 141-151, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000100016>.
- ALMEIDA, F. F. M. de. Fundamentos geológicos do relevo paulista. **Boletim do Instituto Geográfico e Geológico**, n. 41, p. 169-262, 1964. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2017/01/41-1964/>. Acesso em: 28 out. 2024.
- ALMEIDA, R. E. M. de; DIAS, T. S. dos S.; UHLMANN, A.; RAMOS, M. R.; EVANGELISTA, B. A.; COSTA, R. V. da; SIMON, J.; VIDAL-TORRADO, P. Uso agrícola dos Plintossolos Pétricos do oeste do estado de Tocantins. In: SANTOS, G. G.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, R. E. M. de; MADARI, B. E. (ed.). **Guia de campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Goiás e Tocantins**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. E-book. cap. 6. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1155338/1/Guia-de-campo-da-XIV-RCC-Goias-Tocantins.epub>. Acesso em: 17 maio 2024.
- AMADO, T. J. C.; PROCHNOW, D.; ELTZ, F. L. F. Perdas de solo e água em períodos de anomalias climáticas: "El niño" e "La niña" no Sul do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, n. 3, p. 819-827, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000300028>.
- ANGULO, R. J. **Relações entre a erodibilidade e algumas propriedades de solos brasileiros**. 129 f. 1983. Dissertação (Mestrado em Conservação do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/274711>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- AQUINO, R. F.; SILVA, M. L. N.; FREITAS, D. A. F. de; CURI, N.; AVANZI, J. C. Soil losses from typic cambisols and red latosol as related to three erosive rainfall patterns. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 213-220, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000100022>.
- ARRAES, C. L.; BUENO, C. R. P.; PISSARA, T. C. T. Estimativa da erodibilidade do solo para fins conservacionistas na microbacia córrego do Tijuco, SP. **Bioscience Journal**, v. 26, n. 6, p. 849-857, 2010. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/7218>. Acesso em: 30 out. 2024.
- BACK, A. J. **Estimativas de perdas de solo por erosão hídrica por meio da Equação Universal de Perdas de Solo**. Florianópolis: Epagri, 2023. 80 p. (Epagri. Boletim técnico, 210). Disponível em: <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BT/article/view/1714/1569>. Acesso em: 28 out. 2024.
- BAGHDADI, N.; MALLETT, C.; ZRIBI, M. (ed.). **QGIS and generic tools**. Hoboken: ISTE: John Wiley & Sons, 2018. 320 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781119457091>.
- BERTOL, I.; ALMEIDA, J. A. Tolerância de perda de solo por erosão para os principais solos do estado de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 24, n. 3, p. 657-668, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832000000300018>.
- BERTOL, I.; CASSOL, E. A.; MERTEN, G. H. Modelagem e modelos utilizados para estimar a erosão do solo. In: BERTOL, I.; DE MARIA, I. C.; SOUZA, L. da S. (ed.). **Manejo e conservação do solo e da água**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2019. p. 462-494.
- BERTOL, I.; LEITE, D.; ENGEL, F. L.; COGO, N. P.; PAZ GONZÁLEZ, A. Erodibilidade de um Nitossolo Háplico aluminico determinada em condições de campo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, p. 541-549, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832007000300014>.
- BERTOL, I.; SCHICK, J.; BATISTELA, O.; LEITE, D.; AMARAL, A. J. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico aluminico léptico, determinada sob chuva natural entre 1989 e 1998 em Lages (SC). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 26, p. 465-471, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832002000200020>.

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.; BENATTI JUNIOR, R. **Equação de perdas de solo**. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas, 1975. 25 p. (IAC. Boletim técnico, 21).
- BISCAIA, R. C. M.; RUFINO, R. L.; HENKLAIN, J. C. Cálculo de erodibilidade (fator K) de dois solos do estado do Paraná. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 5, p. 183-186, 1981.
- BONILLA, C. A.; JOHNSON, O. I. Soil erodibility mapping and its correlation with soil properties in Central Chile. **Geoderma**, v. 189/190, p. 116-123, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.05.005>.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Áreas susceptíveis à desertificação no semiárido (2004)**. Brasília, DF, 2004. Disponível em: <http://mapas.mma.gov.br/geonetwork/srv/br/main.home>. Acesso em: 6 abr. 2020.
- BRONICK, C. J.; LAL, R. Soil structure and management: a review. **Geoderma**, v. 124, n. 1/2, p. 3-22, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.03.005>.
- CAMPOS FILHO, O. R.; SILVA, I. de F. da; ANDRADE, A. P. de; LEPRUN, J. C. Erosividade da chuva e erodibilidade do solo no agreste de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 27, n. 9, p. 1363-1370, set. 1992. Disponível em: https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/AI-SEDE/20768/1/pab15_set_92.pdf. Acesso em: 10 maio 2024.
- CARVALHO, M. P.; CATANEO, A.; LOMBARDI NETO, F. Índices de erosividade da chuva e enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Roxo distrófico de Campinas (SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 17, p. 445-450, 1993.
- CARVALHO, M. P.; CATANEO, A.; LOMBARDI NETO, F. Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com as perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Podzólico Vermelho-Amarelo de Pindorama. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 279-286, 1997.
- CARVALHO, M. P.; HERNANI, L. C. Parâmetros de erosividade da chuva e da enxurrada correlacionados com perdas de solo e erodibilidade de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 25, p. 137-146, 2001. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832001000100015>.
- CARVALHO, M. P.; LOMBARDI NETO, F.; VASQUES FILHO, J.; CATANEO, A. Índices de erosividade da chuva correlacionados com as perdas de solo de um Podzólico Vermelho eutrófico textura argilosa/muito argilosa de Mococa (SP): primeira aproximação do fator erodibilidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 13, p. 237-242, 1989.
- CASSOL, E. A.; ELTZ, F. L. F.; GUERRA, M. Erodibilidade do solo "São Jerônimo" (Laterítico Bruno Avermelhado distrófico) determinada com simulador de chuvas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., 1980, Recife. **Anais [...]**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1981. p. 203-208.
- CASSOL, E. A.; SILVA, T. S. da.; ELTZ, F. L. F.; LEVIEN, R. Soil erodibility under natural rainfall conditions as the K factor of the universal soil loss equation and application of the nomograph for a subtropical Ultisol. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 42, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbcs20170262>.
- COELHO, M. R.; LUMBRERAS, J. F.; VASQUES, G. M.; DART, R. de O.; OLIVEIRA, V. A. de; SANTOS, G. G.; ALMEIDA, R. E. M. de. Atributos químicos e granulometria dos solos da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: um enfoque pedológico. In: SANTOS, G. G.; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, R. E. M. de; MADARI, B. E. (ed.). **Guia de campo da XIV Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos: RCC de Goiás e Tocantins**. Brasília, DF: Embrapa, 2023. E-book. cap. 8. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/1155338/1/Guia-de-campo-da-XIV-RCC-Goiás-Tocantins.epub>. Acesso em: 23 maio 2024.
- COELHO, M. R.; SANTOS, H. G. dos; SILVA, E. F. da; AGLIO, M. L. D. O recurso natural solo. In: MANZATTO, C. V.; FREITAS JUNIOR, E. de; PERES, J. R. R. (ed.). **Uso agrícola dos solos brasileiros**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2002. cap. 1, p. 1-12. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/274194/1/O-recurso-natural-solo-2002.pdf>. Acesso em: 28 out. 2024.
- COGO, N. P.; LEVIEN, R.; SCHWARZ, R. A. Perdas 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, n. 4, p. 743-753, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832003000400019>.
- COUTO, E. G.; CORRÊA, G. R.; OLIVEIRA, V. A.; NASCIMENTO, A. F. do; VIDAL-TORRADO, P.; BEIRIGO, R.; SCHAEFER, C. E. G. R. Soils of Pantanal: the largest continental wetland. In: SCHAEFER, C. E. G. R. (ed.). **The soils of Brazil**. Cham: Springer, 2023. cap. 9, p. 239-268. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-19949-3_9.

- CUNHA, T. J. F.; PETRERE, V. G.; SILVA, D. J.; MENDES, A. M. S.; MELO, R. F. de; OLIVEIRA NETO, M. B. de; SILVA, M. S. L. da; ALVAREZ, I. A. Principais solos do semiárido tropical brasileiro: caracterização, potencialidades, limitações, fertilidade e manejo. In: SA, I. B.; SILVA, P. C. G. da. (ed.). **Semiárido brasileiro: pesquisa, desenvolvimento e inovação**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2010. cap. 2, p. 50-87. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/158421/1/CAPITULO-02-TONY-final.pdf>. Acesso em: 28 out. 2024.
- DAL CONTE, F. M. **Índice de erodibilidade de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo, determinado sob chuva simulada**. 1982. 67 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- DECHEN, S. C. F.; TELLES, T. S.; GUIMARÃES, M. de F.; DE MARIA, I. C. Perdas e custos associados à erosão hídrica em função de taxas de cobertura do solo. **Bragantia**, v. 74, n. 2, p. 224-233, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.0363>.
- DEDECEK, R. A.; RESCK, D. V. S.; FREITAS JUNIOR, E. Perdas de solo, água e nutrientes por erosão em Latossolo Vermelho-Escuro dos cerrados em diferentes cultivos sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 265-272, 1986.
- DENARDIN, J. E. **Erodibilidade de solo estimada por meio de parâmetros físicos e químicos**. 1980. 81 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.11.1990.tde-20230818-145355>.
- DENARDIN, J. E.; WÜNSCHE, W. A. Erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., 1980, Recife. **Anais** [...]. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1981.
- DESERTIFICAÇÃO, degradação da terra e secas no Brasil. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2016. 252 p. Disponível em: <https://www.cggee.org.br/documents/10195/11009696/DesertificacaoWeb.pdf>. Acesso em: 28 out. 2024.
- EDUARDO, E. N.; CARVALHO, D. F. de; MACHADO, R. L.; SOARES, P. F. C.; ALMEIDA, W. S. de. Erodibilidade, fatores cobertura e manejo e práticas conservacionistas em Argissolo Vermelho Amarelo, sob condições de chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 796-803, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000300026>.
- ELTZ, F. L. F.; SCOPEL, I.; CASSOL, E. A.; GUERRA, M. Perdas por erosão em diferentes manejos de solo e coberturas vegetais em solo Laterítico Bruno Avermelhado distrófico (São Jerônimo) sob chuva natural; resultados dos primeiros cinco anos. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., 1980, Recife. **Anais** [...]. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1981. p. 305-307.
- FAO. **Outcome document of the Global Symposium on Soil Erosion**. Rome, 2019. 18 p. Disponível em <http://www.fao.org/3/ca5697en/ca5697en.pdf>. Acesso em: 1 maio 2024.
- FERNANDES, F. A.; FERNANDES, A. H. B. M.; SOARES, M. T. S.; PELLEGRIN, L. A.; LIMA, I. B. T. de. **Atualização do mapa de solos da planície pantaneira para o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2007. 6 p. (Embrapa Pantanal. Comunicado Técnico, 61). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/161349/1/COT61.pdf>. Acesso em: 21 maio 2024.
- FERNANDEZ MEDINA, B.; OLIVEIRA JUNIOR, R. C. de. A aplicabilidade de alguns índices erosivos em Latossolo Amarelo de Manaus (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 11, n. 1, p. 67-70, 1987. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/211187/1/A-APLICABILIDADE-DE-ALGUNS-NDICES-EROSIVOS...pdf>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da Região Sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 23, p. 515-524, 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831999000300004>.
- FREEBAIRN, D. M.; LOCH, R. J.; SILBURN, D. M. Soil erosion and soil conservation for vertisols. In: AHMAD, N.; MERMUT, A. (ed.). **Vertisols and technologies for their management**. Amsterdam: Elsevier, 1996. cap. 9, p. 303-362. (Developments in Soil Science, v. 24). DOI: [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(96\)80011-0](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(96)80011-0).
- GODOI, R. de F.; RODRIGUES, D. B. B.; BORRELLI, P.; OLIVEIRA, P. T. S. High-resolution soil erodibility map of Brazil. **Science of the Total Environment**, v. 781, 146673, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146673>.

HERNANI, L. C.; SALTON, J. C.; FABRÍCIO, A. C.; DEDECEK, R.; ALVES JÚNIOR, M. Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo Roxo de Dourados (MS). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, p. 667-676, 1997. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831997000400018>.

IBGE. **Mapa de solos**. Rio de Janeiro, 2018. 1 mapa, color. Escala 1:250.000. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/pedologia/10871-pedologia.html?=&t=downloads>. Acesso em: 1 jan. 2024.

IBGE. **Províncias estruturais, compartimentos de relevo, tipos de solos e regiões fitoecológicas e outras áreas**. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2019. 179 p. (Macrocaracterização dos recursos naturais do Brasil). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101648.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2024.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Mapa geológico do estado de São Paulo**: escala 1:500.000. São Paulo: IPT, Divisão de Minas e Geologia Aplicada, 1981. v. 1.

JACOBS, G. **Erodibilidade de dois Latossolos Vermelho-Escuro (textura argilosa e média) em relação a erosividade**. 1995. 86 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/26556>. Acesso em: 29 out. 2024.

KENDALL, M. A new measure of rank correlation. **Biometrika**, v. 30, n. 1/2, p. 81-93, 1938. DOI: <https://doi.org/10.2307/2332226>.

KILL, L. H. P. Introdução. In: KILL, L. H. P. (ed.). **Árvore do conhecimento: bioma caatinga**. Brasília, DF: Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/bioma-caatinga/introducao>. Acesso em: 22 maio 2024.

LAGO, J. C.; MARGOLIS, E. Erodibilidade de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo eutrófico, pelos métodos da chuva natural e simulador de chuvas, no sertão de Pernambuco. **Agros**, v. 20, p. 25-36, 1985.

LAL, R.; ELLIOT, W. Erodibility and erosivity. In: LAL, R. (ed.). **Soil erosion research methods**. 2nd ed. New York: Routledge, 1994. cap. 8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1201/9780203739358-8>.

LAL, R. Soil erosion by wind and water: problems and prospects. In: LAL, R. (ed.). **Soil erosion research methods**. New York: Routledge, 2017. cap. 1. DOI: <https://doi.org/10.1201/9780203739358-1>.

LANDIM, R. B. T. V.; SILVA, D. F. da; ALMEIDA, H. R. R. de C. Desertificação em Irauçuba (CE): investigação de possíveis causas climáticas e antrópicas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 1, p. 1-21, 2011. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i1.232681>.

LEPRUN, J.-C. **A erosão, a conservação e o manejo do solo no Nordeste brasileiro**: balanço, diagnóstico e novas linhas de pesquisa. Recife: Sudene, 1981. 106 p. Disponível em: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-12/02805.pdf. Acesso em: 29 out. 2024.

LIMA, J. M.; CURTI, N.; RESENDE, M.; SANTANA, D. P. Dispersão do material de solo em água para avaliação indireta da erodibilidade de Latossolos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 85-90, 1990. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/66794/1/Dispersao-material.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2024.

LOMBARDI NETO, F.; BERTONI, J. **Erodibilidade de solos paulistas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1975. 12 p. (IAC. Boletim técnico, 27).

MANNIGEL, A. R.; CARVALHO, M. de P. e; MORETI, D.; MEDERIOS, L. da R. Fator erodibilidade e tolerância de perda dos solos do Estado de São Paulo. **Acta Scientiarum**, v. 24, n. 5, p. 1335-1340, 2002. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v24i0.2374>.

MARGOLIS, E.; CAMPOS FILHO, O. R. Determinação dos fatores da equação universal de perdas de solo num Podzólico Amarelo de Glória de Goitá. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., 1980, Recife. **Anais [...]**. Recife: Universidade Federal Rural de Pernambuco, 1981. p. 239-250.

MARGOLIS, E. Determinação dos fatores da equação universal de perda de solo para as condições de Caruaru (PE). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 165-169, 1985.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F. do; ARAÚJO FILHO, J. C. de; SILVA, A. B. da. **Solos do Nordeste**. Recife: Embrapa Solos, 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114582/1/FOLDER-SOLOS-DO-NE-versao-final.pdf>. Acesso em: 22 maio 2024.

MARQUES, J. J. G. S. M.; ALVARENGA, R. C.; CURTI, N.; SANTANA, D. P.; SILVA, M. L. N. Índices de erosividade da chuva, perdas de solo e fator erodibilidade para dois solos da região dos cerrados: primeira aproximação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 427-434, 1997a. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831997000300011>.

- MARQUES, J. J. G. S. M.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M.; SILVA, M. L. N.; SÁ, M. A. C. de. Adequação de métodos indiretos para estimativa da erodibilidade de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 447-456, 1997b. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831997000300014>.
- MARQUES, J. J. G. S. M.; CURTI, N.; LIMA, J. M. de; FERREIRA, M. M.; SILVA, M. L. N.; FERREIRA, D. F. Estimativa da erodibilidade a partir de atributos de solos com horizonte B textural no Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 3, p. 457-465, 1997c. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06831997000300015>.
- MARQUES, V. S.; CEDDIA, M. B.; ANTUNES, M. A.; CARVALHO, D. F.; ANACHE, J. A.; RODRIGUES, D. B.; OLIVEIRA, P. T. S. USLE K-factor method selection for a tropical catchment. **Sustainability**, v. 11, n. 7, 1840, 2019. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11071840>.
- MARTINEZ, P.; SOUZA, I. F. Genesis of pseudo-sand structure in Oxisols from Brazil: a review. **Geoderma Regional**, v. 22, Sept. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2020.e00292>.
- MARTINS FILHO, E. M. V.; PEREIRA, V. P. Influência da compactação do solo nas perdas por erosão e na sua erodibilidade. **Ciência Agrônômica**, v. 8, n. 1, p. 39-45, 1993.
- MARTINS FILHO, E. M. V.; SILVA, J. R. C. Comparação de métodos de avaliação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho distrófico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 175-177, 1985.
- MARTINS FILHO, M. V.; LICCIOTI, T. T.; PEREIRA, G. T.; MARQUES JÚNIOR, J.; SANCHEZ, R. B. Perdas de solo e nutrientes por erosão num Argissolo com resíduos vegetais de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 8-18, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162009000100002>.
- MARTINS, S. G.; AVANZI, J. C.; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FONSECA, S. Erodibilidade do solo nos tabuleiros costeiros. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 3, p. 322-327, jul./set. 2011. DOI: <https://doi.org/10.5216/pat.v41i3.9604>.
- MEGNA, P. R.; SANTOS, D.; OLIVEIRA, F. P. de; RIBEIRO, G. do N.; SILVA, V. F.; AYRES, G. do D. J.; RODRIGUES, R. C. M. Distribuição espacial dos limites de tolerância de perda de solos para o estado da Paraíba utilizando SIG. **Ciência e Natura**, v. 45, e35, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5902/2179460X74662>.
- MONDARDO, A.; FARIA, G. S.; CASTRO FILHO, C.; VIEIRA, M. J.; HENKLAIN, J. C.; RUFINO, R. L. Índices de erodibilidade de alguns solos do Estado do Paraná. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais [...]**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978a. p. 199-201.
- MONDARDO, A.; JUCKSCH, I.; VIEIRA, M. J.; FARIAS, G. S.; HENKLAIN, J. C.; RUFINO, R. L. **Erodibilidade do Latossolo Roxo distrófico com 8 % de declive, usando simulador de chuva**. Londrina: IAPAR, 1978b.
- MOTTA, P. E. F. da; CARVALHO FILHO, A. de; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JUNIOR, W. de; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 6, p. 869-878, jun. 2002. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2002000600017>.
- MOURA-BUENO, J. M.; PEDRON, F. de A.; DALMOLIN, R. S. D.; MIGUEL, P. Solos com gradiente textural da depressão central do Rio Grande do Sul. In: PEDRON, F. de A.; PEREIRA, M. G. (ed.). **Compêndio de solos do Brasil**. Santa Maria, RS: Núcleo Regional Sul da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2024. v. 1, p. 9-29. Disponível em: https://www.sbcs-nrs.org.br/docs/2024_livro_compedio_de_solos.pdf. Acesso em: 16 jun. 2024.
- MOURA, M. S. B. de; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; SILVA, T. G. F. da; SOUZA, W. M. de. Aspectos meteorológicos do Semiárido brasileiro. In: XIMENES, L. F.; SILVA, M. S. L. da; BRITO, L. T. de L. (ed.). **Tecnologias de convivência com o Semiárido brasileiro**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 2019. cap. 2, p. 85-104. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/209739/1/Aspectos-meteorologicos-do-Semiario-brasileiro-2019.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- NASCIMENTO, A. F. do; FURQUIM, S. A. C.; COUTO, E. G.; BEIRIGO, R. M.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. C. de; CAMARGO, P. B. de; VIDAL-TORRADO, P. Genesis of textural contrasts in subsurface soil horizons in the Northern Pantanal-Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, n. 5, p. 1113-1127, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832013000500001>.
- NASCIMENTO, A. F.; FURQUIM, S. A. C.; GRAHAM, R. C.; BEIRIGO, R. M.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. C.; COUTO, E. G.; VIDAL-TORRADO, P. Pedogenesis in a Pleistocene fluvial system of the Northern Pantanal - Brazil. **Geoderma**, v. 255/256, p. 58-72, Oct. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2015.04.025>.

NEARING, M. A.; ROMKENS, M. J. M.; NORTON, L. D.; STOTT, D. E.; RHOTON, F. E.; LAFLÉN, J. M.; DOERING, O. C. Measurements and models of soil loss rates. **Science**, v. 290, n. 5495, p. 1300-1301, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.290.5495.1300b>.

OLIVEIRA JUNIOR, J. C. de; CHIAPINI, M.; NASCIMENTO, A. F. do; COUTO, E. G.; BEIRIGO, R. M.; VIDAL-TORRADO, P. Genesis and classification of sodic soils in the Northern Pantanal. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 41, e0170015, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/18069657rbc20170015>.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. C. de; MEDINA, B. F. **Comparação entre a erodibilidade medida diretamente e a estimada pelo método nomográfico em Latossolo Amarelo textura muito argilosa**. Belém, PA: EMBRAPA-CPATU, 1996. 11 p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de pesquisa, 164). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/32758/1/CPATU-BP164.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2024.

PENNOCK, D. **Soil erosion: the greatest challenge to sustainable soil management**. Rome: FAO, 2019. 100 p. Disponível em: <http://www.fao.org/3/ca4395en/ca4395en.pdf>. Acesso em: 1 maio 2024.

POESEN, J. Soil erosion in the Anthropocene: research needs. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 43, n. 1, p. 64-84, Jan. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1002/esp.4250>.

POLIDORO, J. C.; FREITAS, P. L. de; BHERING, S. B.; CARVALHO JUNIOR, W. de; RODRIGUES, R. de A. R.; BENITES, V. de M.; ANJOS, L. H. C. dos; PEREIRA, M. G.; RIBEIRO, J. L. The impact of plans, policies, practices and technologies based on the principles of conservation agriculture for controlling soil erosion in Brazil. In: GLOBAL SYMPOSIUM ON SOIL EROSION, 2019, Rome. **Presentations**. Rome: FAO, 2019. Apresentado por Aluísio Granato de Andrade. Disponível em: <https://www.slideshare.net/externalevents/the-impact-of-plans-policies-practices-and-technologies-based-on-the-principles-of-conservation-agriculture-for-controlling-soil-erosion-in-brazil>. Acesso em: 4 maio 2024.

POLIDORO, J. C.; FREITAS, P. L. de; HERNANI, L. C.; ANJOS, L. H. C. dos; RODRIGUES, R. de A. R.; CESÁRIO, F. V.; ANDRADE, A. G. de; RIBEIRO, J. L. Potential impact of plans and policies based on the principles of conservation agriculture on the control of soil erosion in Brazil. **Land Degradation & Development**, v. 32, n. 12, p. 3457-3468, Jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1002/ldr.3876>.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras**. 3.ed. rev. Rio de Janeiro: EMBRAPA-CNPS, 1995. 65 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/330132/1/Sistema-de-avaliacao-da-aptidao-agricola-das-terras-1995.pdf>. Acesso em: 29 out. 2024.

RAMOS, A. D.; MARINHO, H. E. **Estudo da erodibilidade de solo litólico sem cobertura vegetal e sob duas condições de pastagem nativa de caatinga**. Sobral: EMBRAPA-CNPC, 1980. 16 p. (EMBRAPA-CNPC. Boletim de Pesquisa, 2). Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/36449/1/BP-02.pdf>. Acesso em: 29 out. 2024.

RECOMENDAÇÕES gerais do encontro sobre uso do simulador de chuva em pesquisa de conservação do solo no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PESQUISA DE EROÇÃO COM SIMULADORES DE CHUVA, 1., 1975, Londrina. **Anais** [...]. Londrina: IAPAR: Embrapa, 1975. p. 107-120.

RENARD, K. G.; FOSTER, G. R.; WEESIES, G. A.; MCCOOL, D. K.; YODER, D. C. (coord.). **Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)**. Washington, DC: USDA, 1997. (USDA Agriculture Handbook, 703). Disponível em: <https://www.tucson.ars.ag.gov/unit/publications/PDFfiles/717.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2024.

RESCK, D. V. S.; FIGUEIREDO, M. S.; FERNANDES, B.; RESENDE, M.; SILVA, T. C. A. Erodibilidade de um Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico distrófico fase terraço, localizado na Zona da Mata (MG), determinada com simulador de chuva. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 5, p. 7-14, 1981.

RODRIGUES DO Ó, N. C. **Erodibilidade das principais classes de solo do Estado da Paraíba determinada por chuva simulada e método nomográfico**. 1986. 29 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Areia.

ROLOFF, G.; DENARDIN, J. E. Estimativa simplificada da erodibilidade do solo. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA 10., 1994, Florianópolis. **Resumos** [...]. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1994. p. 150-151.

ROSSI, M.; KANASHIRO, M. M. O mapa de solos. In: ROSSI, M.; NALON, M. A.; KANASHIRO, M. M. **Atlas de suscetibilidades dos solos do estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Ambientais, 2022. cap. 2, p. 4-21. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/ipa/atlas-de-suscetibilidades-dos-solos-do-estado-de-sao-paulo/>. Acesso em: 28 maio 2024.

ROSSI, M.; NALON, M. A.; KANASHIRO, M. M. **Atlas de suscetibilidades dos solos do estado de São Paulo**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Ambientais, 2022. v. 1. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/ipa/atlas-de-suscetibilidades-dos-solos-do-estado-de-sao-paulo/>. Acesso em: 28 maio 2024.

- SALOMÃO, F. X. T. Solos do arenito Bauru. In: PEREIRA, V. de P.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. da. (ed.). **Solos altamente suscetíveis à erosão**. Jaboticabal: UNESP-FCAV: SBCS, 1994. p. 51-55.
- SÁ, M. A. C. de; LIMA, J. M. de; CURTI, N.; MASSAROTO, J. A.; MARQUES, J. J. G. de S. e M. Estimativa da erodibilidade pela desagregação por ultra-som e atributos de solos com horizonte B textural. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, n. 7, p. 691-699, jul. 2004. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2004000700011>.
- SANTANA, M. O. (org.). **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil**. Brasília, DF: MMA, Secretaria de Recursos Hídricos: Universidade Federal da Paraíba, 2007. 134 p. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/composicao/snpct/dcdde/Atlas_ASD_2007_Completo_11zon.pdf. Acesso em: 29 out. 2024.
- SANTOS, H. G. dos; JACOMINE, P. K. T.; ANJOS, L. H. C. dos; OLIVEIRA, V. A. de; LUMBRERAS, J. F.; COELHO, M. R.; ALMEIDA, J. A. de; ARAUJO FILHO, J. C. de; OLIVEIRA, J. B. de; CUNHA, T. J. F. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 p. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/199517/1/SiBCS-2018-ISBN-9788570358004.pdf>. Acesso em: 29 out. 2024.
- SANTOS, R. D. dos; SANTOS, H. G. dos; KER, J. C.; ANJOS, L. H. C. dos; SHIMIZU, S. H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 7. ed. rev. e ampl. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 170 p.
- SCHICK, J.; BERTOL, I.; COGO, N. P.; PAZ GONZÁLEZ, A. Erodibilidade de um Cambissolo Húmico sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 6, p. 1906-1917, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832014000600025>.
- SHEPHERD, R. **Excel VBA Macro Programming**. New York: McGraw-Hill/Osborne, 2004. 319 p.
- SILVA, A. M. da; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; AVANZI, J. C.; FERREIRA, M. M. Erosividade da chuva e erodibilidade de Cambissolo e Latossolo na região de Lavras, Sul de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, n. 6, p. 1811-1820, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-06832009000600029>.
- SILVA, B. P. C.; SILVA, M. L. N.; BATISTA, P. V. G.; PONTES, L. M.; ARAÚJO, E. F.; CURTI, N. Soil and water losses in eucalyptus plantation and natural forest and determination of the USLE factors at a pilot sub-basin in Rio Grande do Sul, Brazil. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 40, n. 4, p. 432-442, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-70542016404013216>.
- SILVA, I. F.; ANDRADE, A. P.; CAMPOS FILHO, O. R. Erodibilidade de seis solos do semi-árido paraibano obtida com chuva simulada e método nomográfico. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 10, p. 283-287, 1986.
- SILVA, L. F. da. **Pedogênese e classificação de Planossolos em diferentes regiões fisiográficas do Rio Grande do Sul**. 2018. 150 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/184877/001080382.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 maio 2024.
- SILVA, M. A. da; SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; OLIVEIRA, A. H.; AVANZI, J. C.; NORTON, L. D. Water erosion risk prediction in eucalyptus plantations. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n. 2, p. 160-172, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200007>.
- SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; FERREIRA, M. M.; LIMA, J. M. de; FERREIRA, D. F. Proposição de modelos para estimativa da erodibilidade de Latossolos Brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 12, p. 2287-2298, dez. 1999. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X1999001200016>.
- SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; LIMA, J.; FERREIRA, M. Avaliação de métodos indiretos de determinação da erodibilidade de Latossolos brasileiros. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1207-1220, 2000. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000600018>.
- SILVA, M. L. N.; CURTI, N.; OLIVEIRA, M. S. de; FERREIRA, M. M.; LOMBARDI NETO, F. Comparação entre métodos diretos e indiretos para determinação da erodibilidade em Latossolos sob cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 11, p. 1751-1761, nov. 1994. Disponível em: <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/4231/1522>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- SILVA, M. L. N.; FREITAS, P. L. de; BLANCANEUX, P.; CURTI, N.; LIMA, J. M. Relação entre parâmetros da chuva e perdas de solo e determinação da erodibilidade de um Latossolo Vermelho-Escuro em Goiânia (GO). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 21, n. 1, p. 131-137, 1997. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/doc/335158/1/Relacao-entre-parametros-da-chuva-e-perdas-de-solo-1997.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- SOUZA, J. G. de. **O Nordeste brasileiro: uma experiência de desenvolvimento regional**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, 1979. 410 p.
- STRECK, E. V.; KÄMPF, N.; DALMOLIN, R. S. D.; KLAMT, E.; NASCIMENTO, P. C. do; SCHNEIDER, P.; GIASSON, E.; PINTO, L. F. S. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER: UFRGS, 2008. 222 p.

- STUDENT. The probable error of a mean. **Biometrika**, v. 6, n.1, p. 1-25, Mar. 1908. DOI: <https://doi.org/10.2307/2331554>.
- SUERTEGARAY, D. M. A.; GUASSELLI, L. A.; VERDUM, R. (org.). **Atlas da Arenização**: sudoeste do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Secretaria da Coordenação e Planejamento do Governo do estado do Rio Grande do Sul, 2001. 84 p.
- SUERTEGARAY, D. M. A.; SILVA, L. A. P. da; GUASSELLI, L. A. (org.). **Arenização**: natureza socializada. Porto Alegre: Compasso Lugar Cultura: Imprensa Livre, 2012. 600 p.
- SWANSON, N. P. A rotating-boom rainfall simulator. **Transactions of the ASAE**, v. 8, n. 1, p. 71-72, 1965. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.40430>.
- TÁVORA, M. R. P.; SILVA, J. R. C.; MOREIRA, E. G. S. Erodibilidade de dois solos da região de Ibiapaba, Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 9, p. 59-62, 1985.
- THEODOROVICZ, A. M. de G. Conclusões e recomendações. In: THEODOROVICZ, A. M. de G.; THEODOROVICZ, A. (org.). **Geodiversidade do Estado de Mato Grosso do Sul**. São Paulo: CPRM, 2010. p. 135-142. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/16734?mode=full>. Acesso em: 13 jun. 2024.
- VAEZI, A. R.; SADEGHI, S. H.; BAHRAMI, H. A.; MAHDIAN, M. Modeling the USLE K-factor for calcareous soils in northwestern Iran. **Geomorphology**, v. 97, n. 3/4, p. 414-423, May 2008. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.08.017>.
- VALLADARES, G. S.; ROCHA JÚNIOR, A. F.; AQUINO, C. M. S. de. Caracterização dos solos no núcleo de desertificação de Gilbués, Piauí, Brasil, e sua relação com os processos de degradação. **Physis Terrae**: Revista Ibero-Afro-Americana de Geografia Física e Ambiente, v. 2, n. 1, p. 115-135, 2020. DOI: <https://doi.org/10.21814/physisterrae.2618>.
- VEIHE, A. The spatial variability of erodibility and its relation to soil types: a study from northern Ghana. **Geoderma**, v. 106, n. 1/2, p. 101-120, Mar. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(01\)00120-3](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(01)00120-3).
- VIERO, A. C. Geodiversidade: adequabilidades/potencialidades e limitações frente ao uso e à ocupação. In: VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. da. (org.). **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2010. p. 143-212. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/16774>. Acesso em: 30 out. 2024.
- VIERO, A. C.; SILVA, D. R. A. da. (org.). **Geodiversidade do estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: CPRM, 2010. 250 p. Programa Geologia do Brasil. Levantamento da Geodiversidade. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/jspui/handle/doc/16774>. Acesso em: 30 out. 2024.
- WILCOXON, F. Individual comparisons by ranking methods. **Biometrics Bulletin**, v. 1, n. 6, p. 80-83, Dec. 1945. DOI: <https://doi.org/10.2307/3001968>.
- WISCHMEIER, W. H.; JOHNSON, C. B.; CROSS, B. V. A soil erodibility nomograph for farmland and construction sites. **Journal of Soil and Water Conservation**, v. 26, n. 5, p. 189-193, 1971.
- WISCHMEIER, W. H.; MANNERING, J. V. Relation of soil properties to its erodibility. **Soil Science Society of America Proceedings**, v. 33, n. 1, p. 131-137, Jan./Feb. 1969. DOI: <https://doi.org/10.2136/sssaj1969.03615995003300010035x>.
- WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses**: a guide to conservation planning. Washington, DC: USDA, 1978. 58 p. (USDA. Agriculture handbook, n. 537). Disponível em: https://www.ars.usda.gov/ARSUserFiles/60600505/RUSLE/AH_537%20Predicting%20Rainfall%20Soil%20Losses.pdf. Acesso em: 30 out. 2024.
- WU, T.; ZHANG, Y.; WANG, Y.; WANG, S.; LEI, L. Factors affecting the stability of soil aggregates of plinthosols in the middle reaches of the Yangtze River. **Catena**, v. 228, 107159, Jul. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107159>.
- WÜNSCHE, W. A.; DENARDIN, J. E. Erodibilidade de Latossolo Vermelho-Escuro álico (Unidade de Mapeamento Passo Fundo) - 1ª aproximação. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 2., 1978, Passo Fundo. **Anais [...]**. Passo Fundo: EMBRAPA-CNPT, 1978. p. 209-214.

