



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Solos

Mapeamento da vulnerabilidade à erosão hídrica dos solos brasileiros em função da dinâmica de uso e cobertura da terra – Subsídio às políticas de conservação de solo e água conduzidas pelo MAPA

Elaboração: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/MAPA - Embrapa Solos

Colaboração: Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente – PPGMA/UERJ

Ano: 1986 e 2019

Abrangência Geográfica: Nacional

Autoria: Margareth Simões^{1,2}; Rodrigo Peçanha Demonte Ferraz¹; José Francisco Lumbreras¹; Maurício Rizzato Coelho¹; Jesus Mansilla Baca¹; Pedro Luiz de Freitas¹, Evaldo de Paiva Lima¹; Patrick Calvano Kuchler²; Mateus Benchimol F. de Almeida².

Filiação: ¹ Embrapa Solos; ² Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente – PPGMA/UERJ

RESUMO EXECUTIVO

Os **Mapas de Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil**, foram elaborados pela Embrapa Solos por solicitação da Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação, Departamento de Produção Sustentável e Irrigação do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – SDI/DEPROS/MAPA, para subsidiar suas políticas públicas setoriais de conservação de solo e água.

A vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica, para todo o território brasileiro, foi determinada a partir da elaboração de diferentes modelos espaciais com base em conhecimento especialista e modelagem matemática que geraram os seguintes mapas temáticos intermediários (i) *erodibilidade dos solos*; (ii) *erosividade das chuvas*; (iii) *classes de declividade* (MDT/SRTM). Estes temáticos possibilitaram a modelagem do mapa de *suscetibilidade dos solos à erosão hídrica*.

Agregando a *suscetibilidade dos solos à erosão* às informações da *dinâmica de mudança de uso da terra*, disponibilizadas pela coleção 5.0 do Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso da Terra do Brasil (MapBiomias) e informações sobre as pastagens degradadas disponibilizadas pelo LAPIG/UFG,

elaborou-se um mapa inédito de Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica para todo o Brasil, com janela temporal de 1986 à 2019.

A informação gerada no estudo, ora em apresentação, possibilita ao tomador de decisão avaliar a dinâmica da vulnerabilidade à erosão, possibilitando ações de planejamento de diversas políticas públicas.

Assim, partir do conhecimento da predisposição e risco de degradação dos solos frente a sua ocupação e uso da terra, os gestores públicos poderão tomar decisões visando: (i) o direcionamento de investimentos; (ii) o financiamento de ações de conservação de solo e adoção de sistemas sustentáveis de produção (plantio direto, sistemas integrados ILP, ILPF); (iii) a definição de áreas prioritárias para receber ações de recuperação; (iv) o planejamento e ordenamento territorial; (v) o planejamento sustentável da expansão agrícola; (vi) a priorização e seleção de áreas mais vulneráveis à erosão em programas de reinserção de áreas com potencial produtivo, dentre outras. Os modelos temáticos gerados constituem informações que se integram ao Programa Nacional de Levantamento e Interpretação dos Solos do Brasil – PronaSolos (<https://www.embrapa.br/pronasolos>).

Cabe salientar que toda a informação foi gerada a partir do desenvolvimento de algoritmos e processamento em nuvem na plataforma Google Earth Engine (GEE). Desta forma, a medida que as informações forem atualizadas (novas coleção do Mapbiomas, novas escalas etc.), automaticamente será possível processar em tempo quase real uma nova informação sobre a vulnerabilidade à erosão de todo o território nacional.

A integração das informações das coleções do Mapbiomas e as informações sistematizadas neste estudo, torna, pela primeira vez, a avaliação da vulnerabilidade à erosão hídrica dos solos brasileiros, uma informação dinâmica e atual.

OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho foi elaborar mapas dinâmicos de Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica para todo o território nacional, baseado em modelos especialistas e nas informações disponibilizadas pelo MapBiomas, visando subsidiar as políticas setoriais de conservação de solo e água do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

JUSTIFICATIVA

A transformação das paisagens decorrente das mudanças de cobertura e uso da terra, no meio rural, constitui um processo, normalmente, de longa duração e grande abrangência geográfica. Constitui um fenômeno espaço-temporal, notavelmente dinâmico, transversal e intrinsecamente relacionado à maioria dos

processos de degradação ambiental. Interações entre as mudanças de uso da terra e os processos de degradação e impactos sobre os sistemas naturais têm sido extensamente relatadas, com destaque para a fragmentação de ecossistemas e perda da biodiversidade; alterações na dinâmica hidrossedimentológica em bacias hidrográficas, degradação e escassez de recursos hídricos; alterações no ciclo hidrológico climático, emissões de gases de efeito estufa, perda de fertilidade e matéria orgânica dos solos; degradação e perda de solo por processos erosivos, dentre outros (MEYER & TURNER, 1994; SALA & PARUELO, 1997; VITOUSEK et al., 1997).

As atividades agropecuárias são consideradas como o principal fator indutor (*drive-forces*) dos processos de mudanças de cobertura e uso da terra que, conseqüentemente, geram impactos sobre os recursos naturais e comprometimento dos serviços ambientais. Contudo, a conversão de áreas naturais em áreas produtivas, de fato, possibilitou aumentar a oferta de alimentos, fibras, energia, dentre outras matérias primas, possibilitando o desenvolvimento socioeconômico de diversos países, sobretudo, daqueles menos industrializados. Entretanto, muitas terras que geraram riquezas por meio da atividade agropecuária, atualmente, encontram-se degradadas ou em processo de degradação.

Segundo estimativas da FAO (2015), estima-se que, no mundo, cerca de 33% das terras apresentem algum tipo de degradação, tendo sido perdido, somente no ano de 2011, cerca de 24 bilhões de toneladas de solo fértil em áreas agrícolas ao redor do mundo.

No Brasil, estudo sobre os impactos econômicos da erosão no Brasil, apresentado por POLIDORO et al. (2020), estima que, tomando-se como referência o ano de 2017, quando o setor agropecuário ocupou, 10% (81 milhões de ha) e 21% (179 milhões de ha) do território nacional com, respectivamente, agricultura e pastagens, se essa produção fosse feita como no passado - monoculturas com preparo convencional de solo e sem práticas conservacionistas - teríamos, estimando uma perda média de 11 t/ha, uma perda anual de solo por erosão hídrica de cerca de 3,1 bilhões de toneladas. Considerando-se que quando uma tonelada de solo é erodida se perde também, além do solo, diversos insumos (adubos, sementes, plantas), em termos econômicos para o caso em tela, o custo estimado seria em torno de 15,7 bilhões de dólares americanos, sendo que 27% desse prejuízo potencial ocorreria em áreas com culturas anuais e 47% em áreas de pastagens consideradas degradadas.

Dessa forma, a erosão hídrica acelerada pelo uso e manejo inadequado do solo deve ser considerada como um dos mais graves problemas ambientais que a humanidade enfrenta na atualidade, na medida em que ocasiona a remoção da camada mais rica do solo com a conseqüente perda de nutrientes, poluição e assoreamento dos cursos d'água, enchentes e queda acentuada da produtividade agrícola (FENG et al., 2010; DOMINATI et al., 2010). E, se considerarmos um cenário de crescimento da população mundial e de aumento da demanda por produtos agropecuários e florestais a pressão sobre os recursos

solo e água se intensificam ainda mais, podendo levar o mundo a um quadro de extrema insegurança alimentar, nutricional e socioeconômica. Além disso, na dimensão socioeconômica o problema da erosão e perda de solos férteis tem forte influência na diminuição da oferta de emprego e renda na área rural. A desvalorização da propriedade rural; o abandono de terras anteriormente produtivas e o êxodo rural com migração para grandes centros, agravam os problemas relacionados aos aglomerados urbanos, merecendo também especial destaque.

Atualmente no Brasil encontram-se vastas áreas abandonadas, subutilizadas com pastagens degradadas ou com culturas agrícolas sem o devido e efetivo controle da erosão, cujo resultado é a diminuição da capacidade produtiva desses solos potencialmente agricultáveis. Diminuição de renda, abandono da atividade agropecuária, insustentabilidade socioeconômica e ambiental são as consequências mais diretas para os produtores. Em um contexto mais amplo, a problemática ensejada pela degradação dos solos tem um rebatimento claro na diminuição da produtividade e da segurança alimentar, bem como o aumento dos custos de produção, aumento das emissões de GEE, assoreamento e impacto nos recursos hídricos.

Contudo, dentre as potências agropecuárias, o Brasil é um dos poucos países que ainda possui terras subutilizadas com potencial para aumentar sua produção sem a necessidade de desmatar novas áreas. De fato, a salvaguarda dos remanescentes naturais, legalmente protegidos pelo Código Florestal, e a abundância de terras que podem ser reinseridas à cadeia produtiva, fazem da conversão de novas áreas sob vegetação natural para produção agropecuária, uma opção pouco estratégica para o país, no que tange às metas de aumento da produção agropecuária nacional e de degradação neutra das terras (UNCCD, United Nations Convention to Combat Desertification, 2018).

A despeito desta narrativa, centrada na exposição da problemática ensejada pela erosão dos solos agrícolas, o Brasil, por meio de todos os atores do setor agropecuário - produtores, agentes governamentais, pesquisadores e extensionistas - já há algumas décadas, vem dando passos importantes na direção de edificação de uma Agricultura mais sustentável. Essa trajetória, em grande parte, se deve aos avanços conquistados pela pesquisa agropecuária, notadamente pelo aprofundamento do conhecimento científico dos solos tropicais, manejo e aptidão agrícola, disseminação das técnicas de conservação de solos e aprimoramento do plantio direto, além da consolidação da fixação biológica de nitrogênio (FBN). Esses avanços permitiram, além dos ganhos em produção e produtividade ganhos ambientais, reduzindo os impactos negativos da atividade agrícola. Como por exemplo, a atenuação de processos erosivos, a redução do uso de adubação nitrogenada e contaminação dos aquíferos subterrâneos, entre outros.

Como ação direta do setor produtivo cabe destacar a revolução tecnológica advinda com a mudança de paradigma do preparo convencional para o plantio direto que foi iniciada pelos agricultores e trouxe enormes benefícios para a conservação dos solos nas áreas agrícolas. Mas recentemente, o crescente

aprimoramento e adoção dos sistemas integrados Lavoura-Pecuária-Floresta têm, igualmente potencial revolucionário, pois permitem o aumento da produtividade, rentabilidade e, ao mesmo tempo, da sustentabilidade ambiental.

No campo das políticas públicas, cabe destacar também notórios esforços como os Planos Estaduais de Microbacias que acumularam grande experiência na implementação de programas de conservação de solo e água em bacias hidrográficas. Na esfera Federal, mais recentemente, cumpre citar o Plano ABC - Agricultura de Baixo Carbono, composto de um conjunto de ações que visam promover a ampliação da adoção de algumas tecnologias agropecuárias sustentáveis com alto potencial de mitigação das emissões de GEE e combate ao aquecimento global e Programa Nacional de Solos do Brasil – PronaSolos que visa organizar e detalhar as informações de solos do país.

Contudo o país ainda apresenta um extenso passivo socioeconômico e ambiental causado pela degradação das terras/solos em áreas de produção agropecuária, legado pelos diversos ciclos agro econômicos e, em certa medida, pela falta de governança e planejamento conservacionista no meio rural brasileiro. O desafio que se impõe, portanto, é a reversão desse quadro de massiva degradação dos solos agricultáveis do país, a partir da conservação, da recuperação e da reinserção dessas áreas degradadas à cadeia de produção agropecuária de alto rendimento. Para tanto, a implementação de uma política pública abrangente, a nível nacional, que estimule a adoção, constante de práticas conservacionistas visando a preservação da capacidade produtiva dos solos e conservação dos recursos hídricos se torna ainda bastante oportuna

Atento a esta realidade, atualmente, o Ministério Agricultura, Pecuária e Abastecimento está formulando um instrumento de política pública, cujo objetivo é estabelecer, coordenar e implementar um conjunto de ações programáticas orientadas para a recuperação e a conservação dos solos e da água, visando à mitigação dos problemas socioeconômicos decorrentes do comprometimento dos recursos naturais e, assim, promover o desenvolvimento rural sustentável.

Um Programa nesses moldes, de notável complexidade e abrangência nacional, requer o estabelecimento de uma estrutura e instrumentalidade de governança e gerência de ações baseada em níveis de planejamento que contemple a visão estratégica, tática e operacional. Com uma visão ampla e abrangente da situação, o nível estratégico de planejamento deve traçar as principais diretrizes, visando o atingimento, em longo prazo, dos resultados almejados. Cabe ao planejamento tático criar metas e condições para que as diretrizes estabelecidas no planejamento estratégico sejam, satisfatoriamente, atingidas a partir de planos concretos com metas mensuráveis. Por fim, o planejamento operacional é o responsável pela execução das ações para atingir as metas traçadas pelo nível tático e, conseqüentemente, a consecução das diretrizes objetivadas nas decisões estratégicas. Um programa governamental desta envergadura requer o estabelecimento de um sistema de monitoramento para o devido acompanhamento das diretrizes no nível estratégico, das metas no nível tático, e, no nível operacional, do alcance e efetividade das ações de implementação planejadas.

Para a efetiva gestão e monitoramento do programa pretendido, se faz necessário estabelecer um conjunto de indicadores, estatísticas e metodologias adequadas aos níveis de gestão. Em consonância com esta demanda os produtos ora em apresentação, na forma de mapas temáticos de suscetibilidade e vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica em escala nacional, objetivam, dentre outras aplicações, fornecer indicadores espaciais em contribuição com os processos de planejamento, gestão e monitoramento desta e de outras políticas públicas ao tema relacionadas.

MATERIAL E MÉTODOS

EMBASAMENTO TEÓRICO-CONCEITUAL

Compilado de diversos autores, o conceito de vulnerabilidade ambiental, adotado no presente trabalho, se baseia na condição ou estado apresentado por um determinado sistema, natural ou antrópico, decorrente de três fatores: (i) da capacidade ou a sensibilidade natural deste sistema em sofrer ou resistir a ação dos fatores de pressão ou impacto; (ii) da condição de exposição do dado sistema a estes fatores de pressão ou impacto, e; (iii) da capacidade de adaptação ou recuperação do sistema após a ação dos fatores de pressão ou impacto. O primeiro fator diz respeito a suscetibilidade natural do sistema em sofrer alterações funcionais e/ou estruturais se for submetido às ações de pressão e alterações em um ou mais dos seus subsistemas componentes. O segundo fator expressa o grau de exposição do sistema aos fatores de pressão ou a probabilidade de ocorrência de eventos impactantes que podem levá-lo a uma nova condição. E, por fim, o terceiro fator introduz a noção de resiliência do sistema sob impacto em resistir às alterações de estado ou retornar a uma condição de equilíbrio após cessar a ação (AQUINO, 2017; OLIVEIRA, 2011; NASCIMENTO et al., 2009; SANTOS, 2007; TRICART, 1977; ADGER, 2006)

Neste trabalho considerou-se que o primeiro e terceiro fatores combinados traduzem o conceito de suscetibilidade natural que uma vez confrontada com indicadores de pressão configuram a vulnerabilidade ambiental. Desde modo, o conceito de “vulnerabilidade”, como aqui tratado, expressa a ideia de risco ambiental, ou seja, o risco do sistema observado em ser alterado em relação a sua condição inicial, presumivelmente de maior equilíbrio. Quanto maior for a suscetibilidade natural e mais intensos forem os fatores de pressão tanto mais vulnerável estará o sistema em observação e, evidentemente, o oposto se faz verdade. Por exemplo, um sistema que seja considerado muito suscetível por sua constituição natural, se não estiver sobre risco de pressão eminente, pode não estar na mesma condição de vulnerabilidade quanto outro que mesmo sendo pouco suscetível se encontra sobre forte pressão antrópica.

O presente trabalho, objetivou gerar um modelo espacial de vulnerabilidade ambiental relacionada aos processos erosivos que pudesse expressar o risco potencial de degradação dos solos agrícolas em função do grau de exposição destes aos agentes erosivos determinado pelos tipos de uso e cobertura natural.

Cumprido esclarecer que, do ponto de vista geomorfológico, o fenômeno da erosão constitui todo o ciclo de produção, transporte e deposição dos sedimentos clásticos, constituindo assim uma força incoercível, responsável por esculpir, em escala de tempo geológica, o modelado geomorfológico, dando origem as diversas formas de relevo. Em estrito senso, enquanto fenômeno mais localizado, em escala histórica, se caracteriza como um processo com grande poder de degradar os sistemas pedológicos, começando como formas mais difusas, evidenciadas como erosão laminar, que podem evoluir para feições concentradas em sulcos erosivos, descritos quanto à intensidade e à frequência de ocorrência no terreno que, por fim, podem chegar a voçorocamentos que são caracterizados por feições severas que podem atingir dezenas de metros de largura, profundidade e comprimento. É, exatamente, neste último sentido, enquanto processo que leva a degradação dos solos, que o fenômeno da erosão é tratado neste trabalho.

Os processos erosivos que atuam em um dado agroecossistema podem ser simplificados e melhor compreendidos a partir da análise de seus fatores intervenientes. Por óbvio, o solo, como fator passivo, representa o subsistema que recebe os efeitos do processo de erosão. Por outro lado, o clima confere matéria e energia para desencadear e manter em curso o processo erosivo, atuando assim como o fator ativo. O modelado topográfico, notadamente a declividade e o comprimento de rampa das vertentes, juntamente com a cobertura vegetal, antropizada ou natural, constituem os fatores de controle, pois atuam acentuando ou atenuando o referido processo. Dentre os fatores que influenciam na magnitude do processo erosivo estão: (i) os tipos de solos em função da sua constituição físico-química, mineralógica e morfológica; (ii) o clima determinando os padrões pluviométricos; (iii) o relevo determinado a topografia do terreno, declividade e comprimento de rampa e; (iii) a cobertura vegetal, natural ou antrópica (BERTONI E LOMBARDI NETO, 2005). A erosão do solo, portanto, é um processo complexo que envolve a combinação de vários fatores que variam em magnitude conforme processos condicionantes e local de ocorrência (CARVALHO, et al 2009).

Conceitualmente, portanto, a vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica, na forma como é considerada neste trabalho, expressa o grau de risco que o subsistema solo se encontra considerando as suas características intrínsecas que os confere maior ou menor resistência aos processos erosivos e sua ambiência - a sua posição topográfica na paisagem e o clima ao qual esta submetido - em função do nível de exposição em que se encontra proporcionado pelo tipo de uso e/ou cobertura vegetal natural. Deste modo, para se chegar a vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica, se fez necessário elaborar um modelo espacial da suscetibilidade dos solos à erosão hídrica a partir da elaboração de três outros

modelos, a saber: (i) erodibilidade dos solos; (ii) erosividade das chuvas; (iii) classes de declividade. Como fator de pressão antrópica considerou-se o uso e a cobertura da terra como o fator mais apropriado, visto que, cada tipo de cobertura vegetal exerce um determinado nível de proteção ou exposição dos solos aos agentes erosivos. A cobertura vegetal desempenha notório papel de controle dos processos erosivos, uma vez que, áreas bem vegetadas, interferem como atenuante da cinética do processo erosivo através da interceptação da chuva, maior infiltração e menor escoamento superficial da água. Para maior clareza, a figura 1, apresenta um quadro com a descrição conceitual, destacando as diferenças conceituais entre os modelos de erosividade do solo, suscetibilidade e vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica.

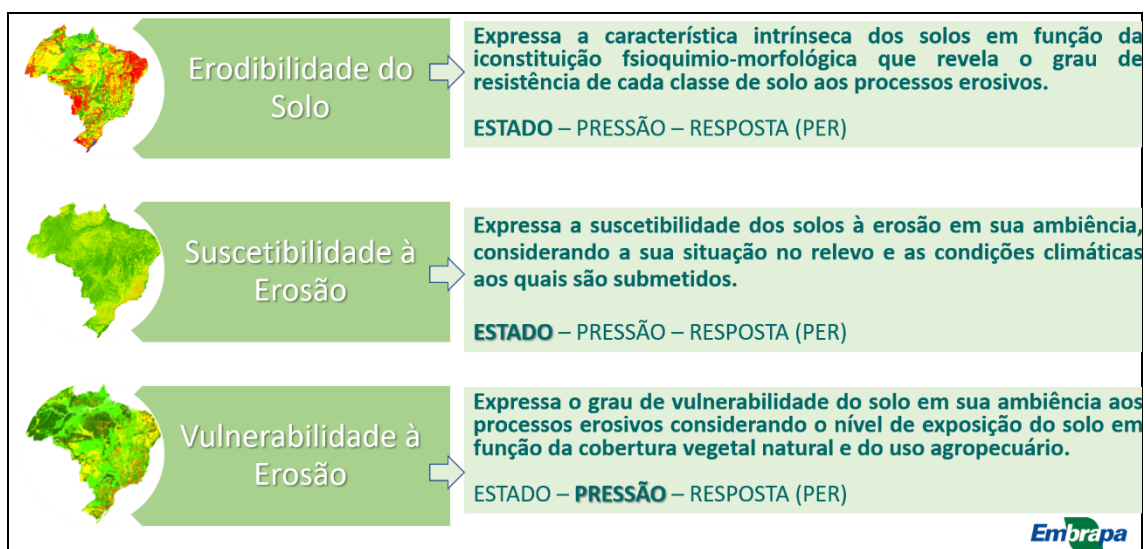


Figura 1. Diferenças conceituais entre os modelos de erosividade do solo, suscetibilidade e vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica.

MODELO CONCEITUAL

A metodologia consistiu em duas etapas distintas. A primeira etapa objetivou a elaboração de um modelo espacial da distribuição espacial da suscetibilidade dos solos à erosão hídrica em escala nacional. A segunda etapa integrou o tema suscetibilidade à erosão hídrica ao modelo de uso e cobertura da terra considerado, como anteriormente exposto, como um fator interveniente indicador da pressão antrópica, resultando nos mapas de vulnerabilidade à erosão hídrica do Brasil para os anos de 1985 e 2019. Entretanto, para se obter o modelo de suscetibilidade dos solos à erosão hídrica foi necessário a elaboração de três outros modelos: erodibilidade dos solos; erosividade das chuvas e classes de declividade. A figura 2 apresenta o modelo conceitual de integração temática para a elaboração dos seguintes modelos: erosividade dos solos; (ii) suscetibilidade dos solos à erosão hídrica e; (iii) vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica.

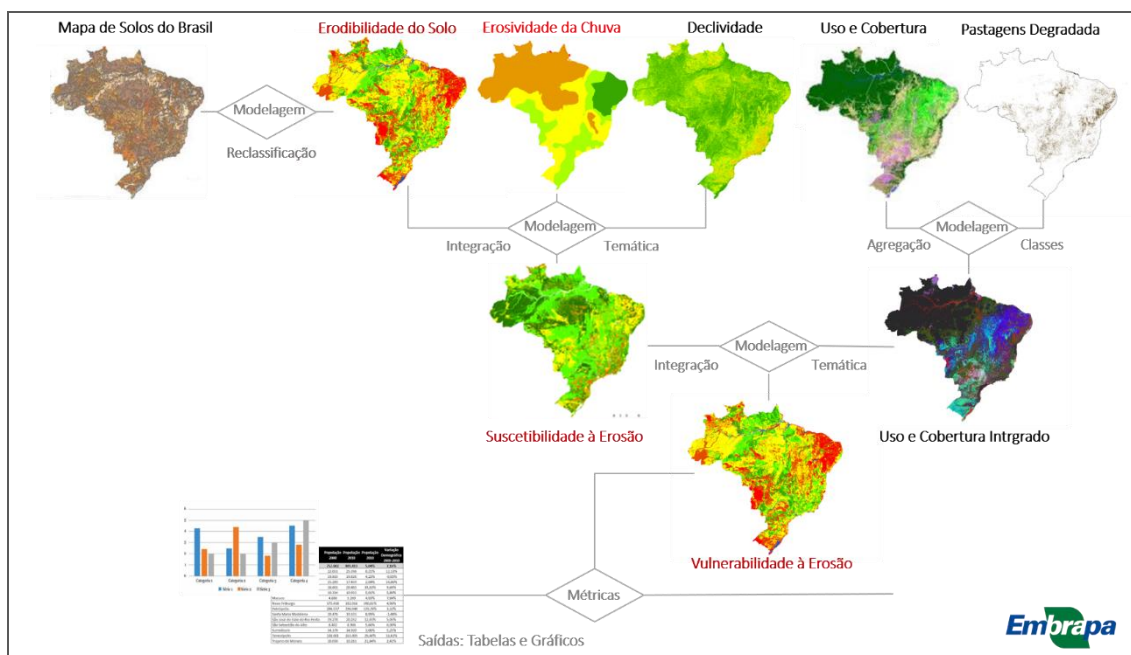


Figura 2. Modelo conceitual de integração temática para a elaboração dos modelos de Erosividade dos Solos, Suscetibilidade dos solos à erosão hídrica, Uso e Cobertura e Vulnerabilidade dos solos à erosão hídrica.

MODELOS ELABORADOS

Nesta seção serão apresentados, de modo sucinto, os modelos que foram elaborados e/ou utilizados neste estudo.

Erodibilidade dos solos do Brasil

Descrição: Carta temática da Erodibilidade dos Solos do Brasil elaborada pela Embrapa Solos a partir da interpretação pedológica das unidades de mapeamento do Mapa de Solos do Brasil, escala 1:250.000 (IBGE, 2018)

Dados de Entrada: Mapa de Solos do Brasil, escala 1:250.000 (IBGE, 2018)

Metodologia: A carta temática de Erodibilidade dos Solos do Brasil foi gerada a partir da interpretação pedológica, por meio de conhecimento especialista, considerando de forma ponderada os quatro primeiros componentes (Unidades Taxonômicas) de cada unidade de mapeamento do Mapa de Solos do Brasil, publicado na escala 1:250.000 (IBGE, 2018). A carta foi originariamente gerada na forma vetorial, tendo sido rasterizada (pixels 30x30) para permitir o geoprocessamento e integração com os demais dados espaciais. As unidades pedológicas derivadas foram categorizadas em cinco (5) classes que representam variação ordinal da erodibilidade dos solos em função das suas propriedades intrínsecas, quanto à sua capacidade de resistir à erosão hídrica. Foram estabelecidas as seguintes classes: (1) Muito baixa; (2) Baixa; (3) Média; (4) Alta; (5) Muito alta.

Erosividade das chuvas do Brasil

Descrição: Modelo espacial da distribuição da erosividade das chuvas no Brasil (Embrapa Solos)

Dados de Entrada: Foram utilizados dados mensais de precipitação da rede de Zoneamento Agrícola do Risco Climático (ZARC) e da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). No total foram 3.659 estações pluviométricas, sendo 3.294 da rede ZARC e 365 da CPRM.

Metodologia: A erosividade foi determinada pelo conjunto de equações de EI30 apresentadas no trabalho de Oliveira et al. (2012), exceto para a região Norte do Brasil (Manaus-AM) na qual foi utilizada a equação proposta no trabalho de Barbosa et al. (2015). Essas equações foram plotadas em formato de ponto no ambiente SIG do ArcGIS para a produção de zonas de proximidade da equação utilizando o método dos polígonos de Thiessen. Com o estabelecimento dos vínculos entre as equações de EI30 e as estações pluviométricas foi possível calcular o EI30 para cada um dos meses e estações pluviométricas no Excel. O somatório do EI30 de cada mês resultou na erosividade da chuva anual de cada estação. De posse desses resultados, que eram pontuais, gerou-se o mapa de R por meio da interpolação com o IDW. Para finalizar, o mapa foi reclassificado de acordo com as classes de erosividade anual proposta por Carvalho (2008).

Classes de declividade

Descrição: As classes de declividade geradas a partir de um modelo digital do terreno com base nos dados SRTM (30m)

Dados de Entrada: Dados SRTM-Shuttle Radar Topography Mission/NASA com 30 m de resolução espacial. (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM>).

Metodologia: A carta de declividade do terreno foi gerada a partir de um modelo digital do terreno com base nos dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), para pixel de 30 m. A variável foi dividida em cinco classes de declividade de acordo com os intervalos das classes de relevo estabelecidas no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) (Santos et al., 2018), a saber: (1) Muito baixa (relevo plano: $\leq 3\%$ de declividade); (2) Baixa (suave ondulado: > 3 a $\leq 8\%$ de declividade); (3) Média (relevo ondulado: > 8 a $\leq 20\%$ de declividade); (4) Alta (relevo forte ondulado: > 20 a $\leq 45\%$ de declividade); e (5) Muito alta (relevo montanhoso: $> 45\%$ a $\leq 75\%$ de declividade).

Uso e cobertura da terra

Descrição: Modelo de Uso e Cobertura da Terra gerado a partir da integração dos dados do Mapbiomas e dados sobre as pastagens degradadas (LAPIG/UFG).

Dados de Entrada: Mapa de Uso e Cobertura (MapBiomias coleção 05 – anos de 1985 e 2019 - <https://plataforma.mapbiomas.org>) e Pastagens Degradadas LAPIG/UFG - www.lapig.iesa.ufg.br)

Metodologia: simples operação de geoprocessamento (*merge*), em ambiente SIG, para acrescentar informação/camada (*layer*) de pastagens de degradadas (LAPIG/UFG) no mapa de Uso e Cobertura fornecido pelo MapBiomias para os anos de 1985 e 2019, gerando um modelo único com mais uma classe de uso, tipificada como pastagens degradadas. Cabe explicitar que considerou-se o pressuposto de que as pastagens degradadas conferem menor proteção ao solo em relação aos processos erosivos.

Suscetibilidade dos solos do Brasil à erosão hídrica

Modelo conceitual

A figura 3 apresenta o modelo conceitual de integração temática utilizado para a elaboração do mapa de Suscetibilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil.

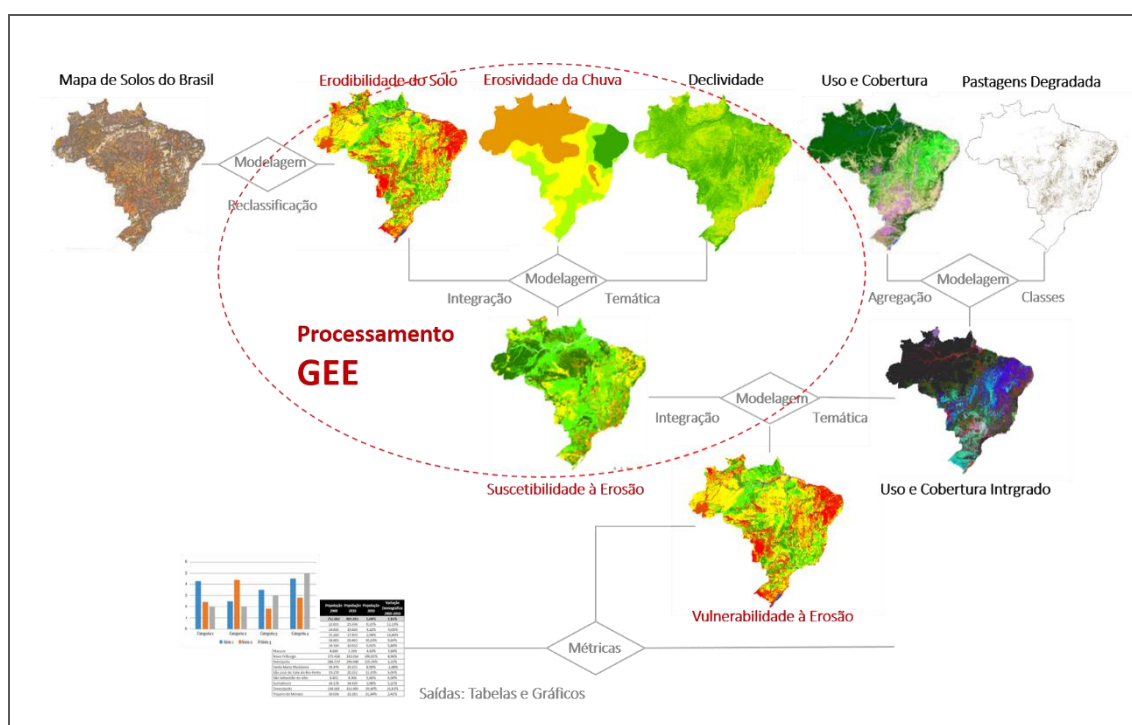


Figura 3. Modelo conceitual de integração temática utilizado para a elaboração do mapa de Suscetibilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil.

Descrição: O Mapa da Suscetibilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil constitui um modelo espacial, em escala nacional, que expressa a sensibilidade dos solos à erosão hídrica em sua ambiência, ou seja, considerando a situação topográfica e as condições climáticas às quais se encontram. Os níveis de

suscetibilidade são representados em cinco (05) classes nominais de intensidade – Muito Baixa; Baixa; Média; Alta; Muito Alta.

Dados de Entrada: (i) Erodibilidade dos solos do Brasil (Embrapa Solos): Carta temática gerada a partir da interpretação pedológica, por meio de conhecimento especialista, considerando os quatro primeiros componentes das unidades de mapeamento do Mapa de Solos do Brasil, escala 1:250.000 (IBGE, 2018); (ii) Erosividade da Chuva do Brasil (Embrapa Solos): O modelo espacial da erosividade da chuva baseou-se nas estimativas anuais do Fator R para todo o Brasil a partir dos dados mensais de precipitação da rede de Zoneamento Agrícola do Risco Climático (ZARC) e da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM). No total foram 3.659 estações pluviométricas, sendo 3.294 da rede ZARC e 365 da CPRM.; (iii) Classes de Declividade: As classes de declividade foram geradas a partir de um modelo digital do terreno com base nos dados SRTM - Shuttle Radar Topography Mission /NASA com 30 m de resolução espacial (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/SRTM>)

Metodologia: A metodologia baseou-se em uma modelagem conceitual de integração temática baseada em conhecimento especialista. Foram utilizados os seguintes modelos de entrada: (i) Mapa de Erodibilidade dos Solos do Brasil (Embrapa Solos); (ii) Mapa de Erosividade das Chuvas do Brasil (Embrapa Solos) e; (iii) Modelo Digital do Terreno com 30 m de resolução espacial (SRTM/NASA). Os modelos foram segmentados em cinco (05) classes de intensidade e reamostrados em matrizes com pixels de 30 x 30m.

O processamento ocorreu por meio da plataforma do Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com>).

A figura 4 apresenta um quadro sinóptico da metodologia, incluindo a chave de classificação utilizada para a integração temática entre os mapas de Erodibilidade dos Solos do Brasil (Embrapa Solos), Erosividade das Chuvas (Embrapa solos) e Classes de Declividade derivada dos dados do SRTM – 30m (NASA).

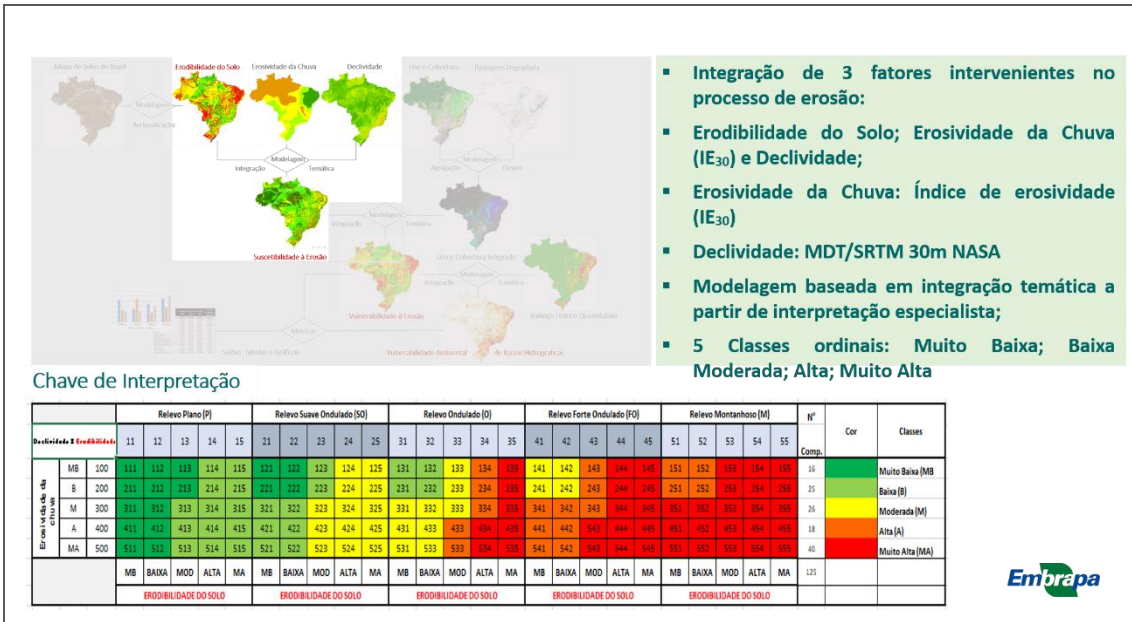


Figura 4. Quadro sinóptico da metodologia, incluindo a chave de classificação utilizada para a integração temática entre os mapas de Erodibilidade dos Solos do Brasil (Embrapa Solos), Erosividade das Chuvas (Embrapa solos) e Classes de Declividade derivada dos dados do SRTM – 30m (NASA)

Vulnerabilidade dos solos do Brasil à erosão hídrica

Modelo conceitual

A figura 5 apresenta o modelo conceitual de integração temática utilizado para a elaboração do mapa de Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil para os anos de 1986 e 2019.

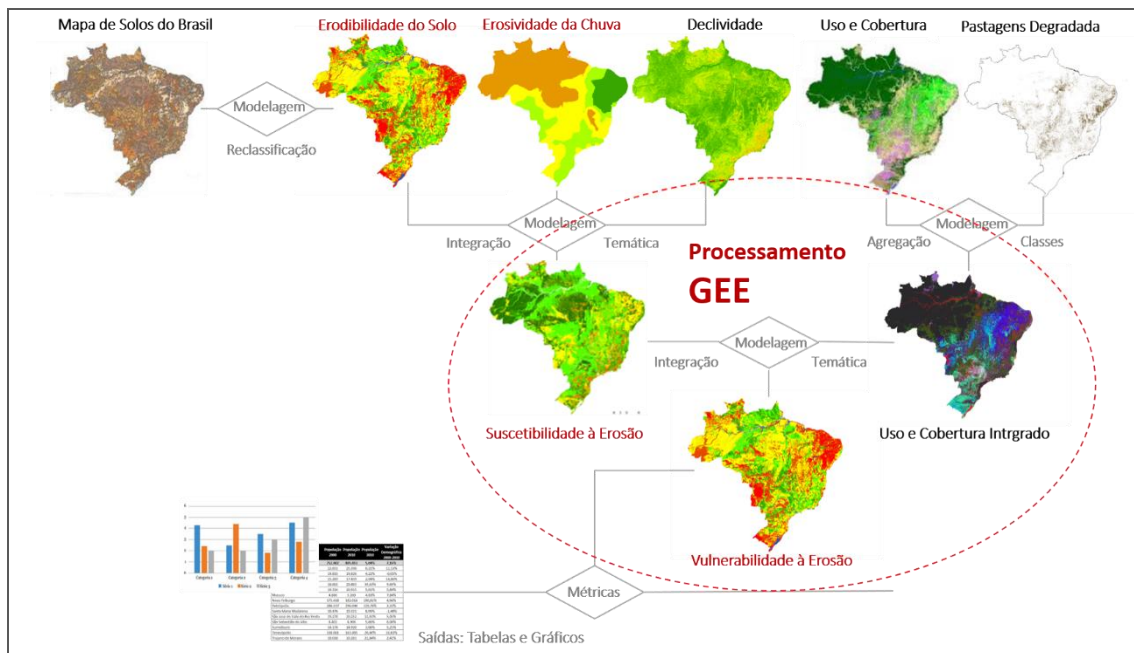


Figura 5. Modelo conceitual de integração temática utilizado para a elaboração do mapa de Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil para os anos de 1986 e 2019.

Descrição: O Mapa da Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil constitui um modelo espacial, em escala nacional, que expressa o grau de vulnerabilidade dos solos aos processos erosivos, considerando o nível de exposição em função da cobertura vegetal natural e/ou do uso agropecuário. Os níveis de Vulnerabilidade são representados em cinco (05) classes nominais de intensidade – Muito Baixa; Baixa; Média; Alta; Muito Alta.

Dados de Entrada: (i) Mapa da Suscetibilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil (Embrapa Solos); (ii) Mapa de Uso e Cobertura (MapBiomias coleção 05 - <https://plataforma.mapbiomas.org> e Pastagens Degradadas LAPIG/UFG - www.lapig.iesa.ufg.br)

Metodologia: A metodologia baseou-se em uma modelagem conceitual de integração temática baseada em conhecimento especialista. Foram utilizados os seguintes modelos de entrada: (i) Mapa da Suscetibilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil (Embrapa Solos); (ii) Mapa de Uso e Cobertura da Terra (MapBiomias coleção 5). Os modelos foram segmentados em cinco (05) classes de intensidade e reamostrados em matrizes com pixels de 30x 30m. O processamento ocorreu por meio da plataforma do Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com>).

A figura 6 apresenta um quadro sinóptico da metodologia, incluindo a chave de classificação utilizada para a integração temática entre os mapas de Suscetibilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil (Embrapa Solos) e o Mapa de Uso e Cobertura Integrado produto de compilação dos dados do MapBiomias (Coleção 5.0, anos: 1986 e 2019) e dados do LAPIG/UFG sobre as pastagens degradadas (anos 1986 e 2019).

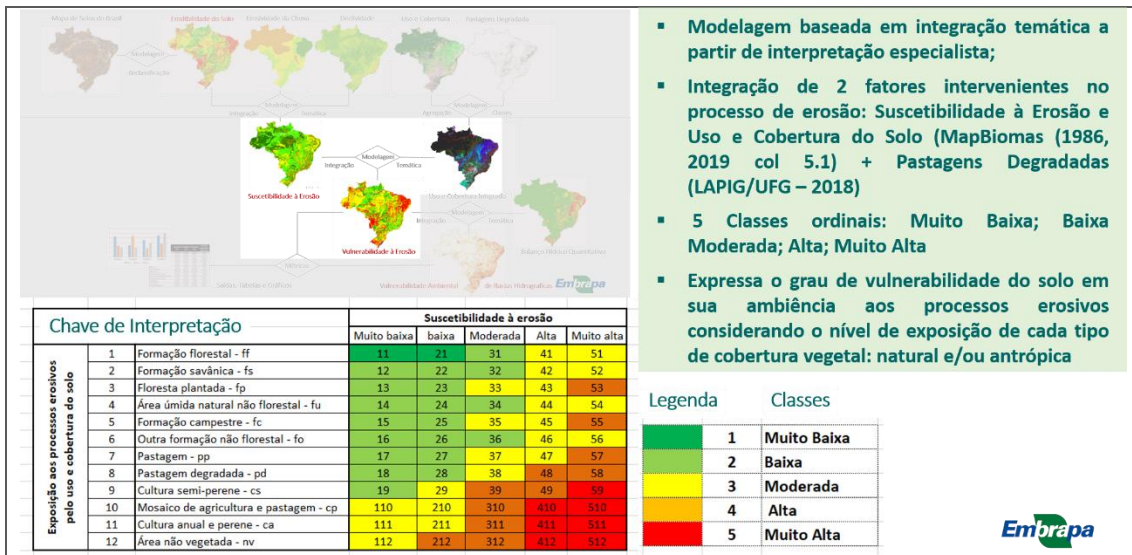


Figura 6. Quadro sinóptico da metodologia, incluindo a chave de classificação utilizada para a integração temática entre os mapas de Suscetibilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil (Embrapa Solos) e o Mapa de Uso e Cobertura Integrado produto de compilação dos dados do MapBiomias (Col 5.0, anos: 1986 e 2019) e dados do LAPIG/UFG sobre as pastagens degradadas (anos 1986 e 2019)

BANCO DE DADOS

Foi montado um banco de dados para a organização dos dados de entrada e para a elaboração dos modelos anteriormente apresentados. A figura 7 apresenta a estrutura do banco de dados utilizados para a elaboração dos modelos de Erodibilidade dos solos, Suscetibilidade dos Solos à Erosão Hídrica Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica, assim como, temáticos complementares e bases fisiográficas.

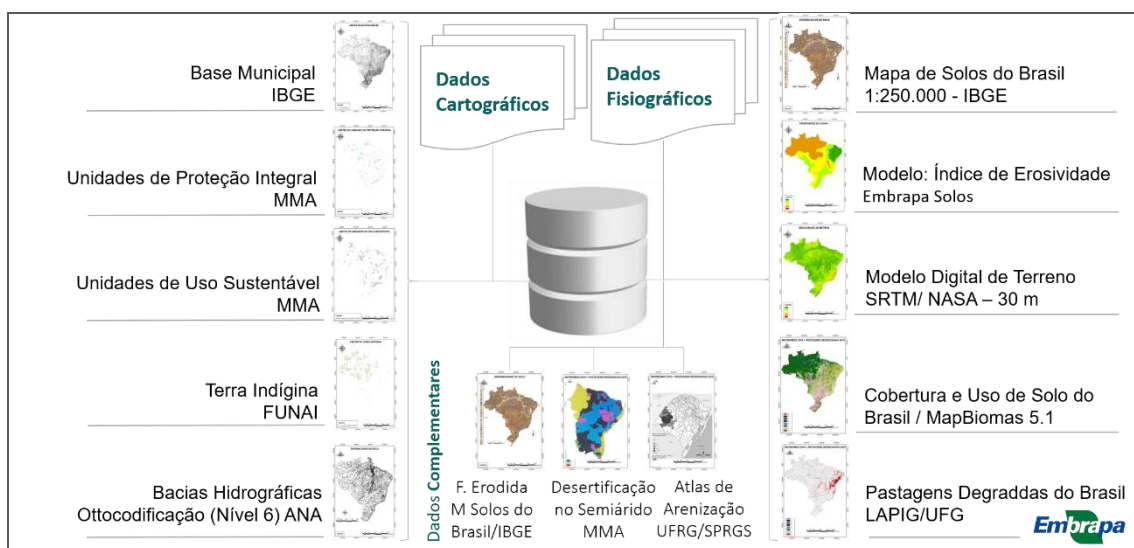


Figura 7. Estrutura do banco de dados utilizado para a elaboração dos modelos de Erodibilidade dos Solos, Suscetibilidade dos Solos à Erosão Hídrica, Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica, temáticos complementares e bases fisiográficas

PROCESSAMENTO NO GEE

Todo processamento da integração temática para a elaboração dos modelos apresentados – Suscetibilidade e Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica – ocorreu por meio da plataforma do Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com>). Os códigos computacionais encontram-se no Anexo II deste relatório.

RESULTADOS

Neste item serão apresentados os dois modelos espaciais que foram o objeto principal deste trabalho, os mapas de Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil para os anos de 1986 e 2019 e o Mapa de Suscetibilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil.

Entretanto, como apresentado anteriormente, para a consecução dos resultados pretendidos foi necessário a elaboração de outros dois modelos de entrada – Erodibilidade dos Solos e Erosividade da Chuva – ambos trabalhos originais da Embrapa Solos que, por certo, constituem produtos relevantes mas que não são o foco do presente relatório. Cabe ainda esclarecer que todos os citados modelos estão em fase de publicação científica nas quais a apresentação da metodologia, resultados e discussão, serão apropriadamente abordados com o devido rigor e detalhamento. O foco do presente relatório, no entanto, se restringiu a apresentação dos produtos gerados.

MAPAS DE VULNERABILIDADE DOS SOLOS À EROSÃO HÍDRICA DO BRASIL

Como resultado final da modelagem foram elaborados dois mapas de Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil, referentes aos anos de 1986 e 2019. Desta forma, se torna possível realizar avaliações a respeito da evolução da vulnerabilidade dos solos ou risco potencial de degradação por erosão hídrica em função da supressão da vegetação natural, das transições de uso ou da intensificação não sustentável das atividades agropecuárias que exercem um papel de pressão sobre os recursos naturais, notadamente, de interesse imediato deste trabalho, os recursos: solo e água.

A figura 8 apresenta o mapa de Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil (2019) e, em destaque, o Estado do Mato Grosso com detalhes sub-regionais mostrando a evolução da vulnerabilidade em função da dinâmica e

intensificação de uso da terra ocorrida no período compreendido entre os anos de 1986 a 2019.

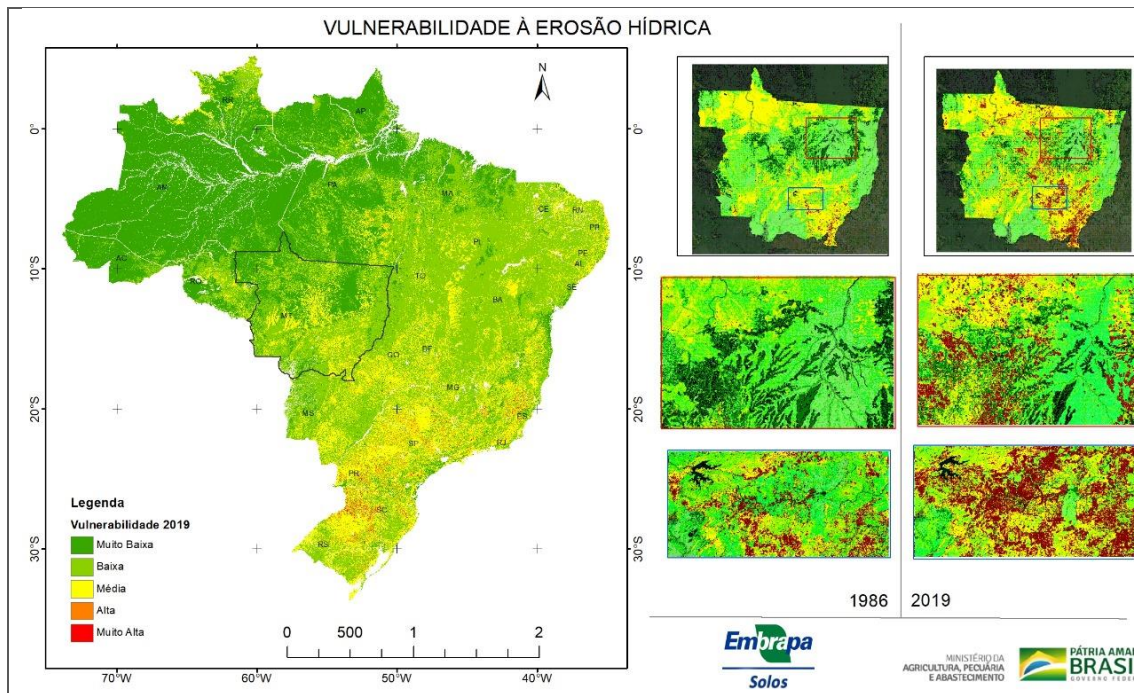


Figura 8. Mapa de Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil (2019) e, em destaque, o Estado do Mato Grosso e detalhe sub-regional, evidenciando a evolução da vulnerabilidade em função da dinâmica e intensificação de uso da terra ocorrida no período de 1986 a 2019.

MAPA SUSCETIBILIDADE DOS SOLOS À EROSÃO HÍDRICA DO BRASIL

A figura 9 apresenta o mapa de Suscetibilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil elaborado a partir da integração temática dos mapas de Erodibilidade dos Solos, Erosividade da Chuva e Classes de Declividade que, por sua vez, serviu de entrada para, juntamente com o mapa de Uso e Cobertura Integrado da Terra compor o mapa de Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil.

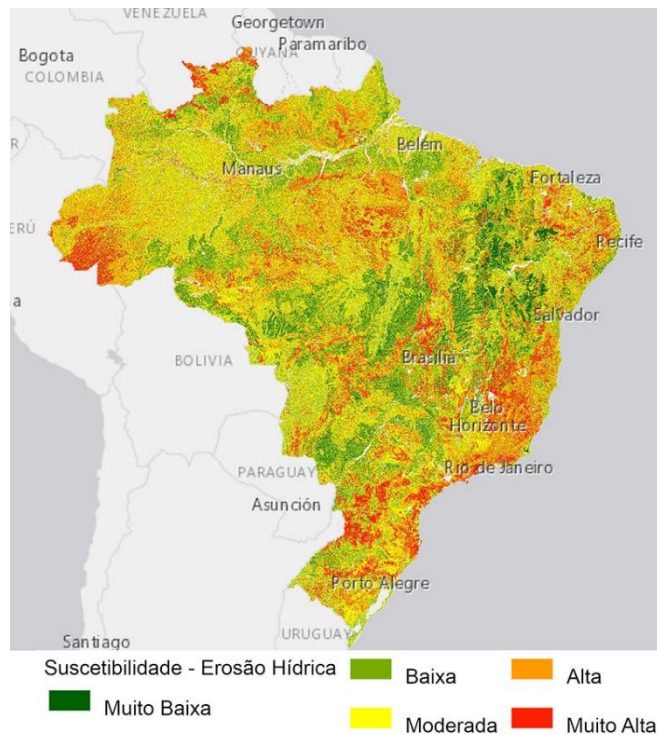


Figura 9. Mapa de Suscetibilidade do Solos à Erosão Hídrica do Brasil

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, se faz necessário destacar as seguintes considerações:

A elaboração dos mapas Suscetibilidade e Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil foi motivada por uma demanda explícita em atendimento às políticas públicas do MAPA, no entanto, essas bases temáticas possuem potencial para contribuir com diversas outras políticas setoriais, além da Agricultura, como o setor de geração de hidroeletricidade, planejamento territorial, construção civil etc. Como bases temáticas de caráter ambiental ainda podem contribuir com diversos estudos técnicos ou acadêmico-científicos;

Ao contrário do mapa de Suscetibilidade dos Solos à Erosão Hídrica que expressa uma condição de estado do meio físico e, portanto, estático no tempo – a não ser que as mudanças climáticas que induzam alteração na erosividade das chuvas – o mapa de Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica possui um caráter dinâmico e pode ser atualizado na medida em que se dados periodicamente atualizados de Uso e Cobertura da Terra. Neste sentido, os dados do MapBiomass, assim como do LAPIG/UFG atualizados anualmente atendem de modo plenamente satisfatório esta demanda;

Os mapas produzidos - Suscetibilidade e Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil foram, como explicitado, gerados a partir de uma modelagem conceitual baseada em conhecimento de especialistas. A escala resultante, compatível com a abrangência nacional, foi decorrente da escala dos dados de entrada, notadamente do Mapa de Solos do Brasil (IBGE, 1:250.000). Entretanto, como foi gerado um código computacional (GEE) que, metaforicamente,

“capturou o conhecimento especialista”, na medida em que se tenha dados de entrada mais detalhados, com escalas maiores, se torna possível a geração de mapas Suscetibilidade e Vulnerabilidade dos Solos à Erosão mais detalhados, compatíveis com os dados de entrada;

O estudo possui abrangência nacional e permite, portanto, guardadas as restrições de escala, gerar mapas com diferentes recortes territoriais (político-administrativos ou fisiográficos) como biomas, estados, municípios, bacias hidrográficas, terras indígenas, unidades de conservação, etc. a exemplo do que ocorre com o Mapbiomas, possibilitando a análise da dinâmica da vulnerabilidade à erosão em diversas unidades territoriais, subsidiando a tomada de decisão nestes recortes.

Por fim, como dito anteriormente, graças ao processamento nas nuvens, à medida que as informações forem sendo atualizadas (novas coleções do Mapbiomas, novas escalas disponibilizadas), automaticamente será possível processar em tempo quase real uma nova informação sobre a vulnerabilidade à erosão de todo o território nacional.

Desta forma, a integração das informações das coleções do Mapbiomas e as informações e conhecimento especialista sistematizadas em algoritmos no ambiente GEE realizadas por este estudo, torna possível, pela primeira vez, a avaliação da vulnerabilidade à erosão hídrica dos solos brasileiros, uma informação dinâmica e atual.

AGRADECIMENTOS

Exercendo as suas atribuições funcionais, os autores da Embrapa Solos, em cumprimento de uma demanda do MAPA, agradecem a colaboração dos alunos do PPGMA/UERJ, assim como, pela disponibilização pública dos dados por parte do MapBiomias e do LAPIG/UFG.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADGER, W.N. Vulnerability. **Global Environmental Change**, Amsterdam, v. 16, p. 268-281. 2006.

ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 3, p. 395-408. 2009

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

- BERTONI, J.; LOMBARDI, N. F. Conservação do solo. 4. ed. São Paulo: Ícone, 1999. _____ . Conservação do solo. 5. ed. São Paulo: Ícone, 2005.
- CARVALHO, D.F.; CRUZ, E.S.; PINTO, F. M.; SILVA, L. D. B.; GUERRA, J.G.M. Características da chuva e perdas por erosão sob diferentes práticas de manejo do solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 13, p.3-9, 2009
- CARVALHO, N. O. **Hidrossedimentologia prática**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2008. 599 p.
- DE AQUINO, Afonso Rodrigues; PALETTA, Francisco Carlos; DE ALMEIDA, Josimar Ribeiro. **Vulnerabilidade ambiental**. Editora Edgard Blücher, 2017.
- DOMINATI, Estelle; PATTERSON, Murray; MACKAY, Alec. A framework for classifying and quantifying the natural capital and ecosystem services of soils. *Ecological economics*, v. 69, n. 9, p. 1858-1868, 2010.
- FAO e ITPS. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Technical Summary. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils. Italy, Rome.77p., 2015.
- FENG, Xiaoming et al. Modeling soil erosion and its response to land-use change in hilly catchments of the Chinese Loess Plateau. *Geomorphology*, v. 118, n. 3-4, p. 239-248, 2010.
- NASCIMENTO, D. M. C.; DOMINGUEZ, J.M.L. Avaliação da vulnerabilidade OLIVEIRA, J. M. **Ecodinâmica e vulnerabilidade ambiental da zona estuarina do Rio Zumbi, litoral oeste do Ceará**. Dissertação (Mestrado)-Universidade Estadual do Ceará, Centro de Ciência e Tecnologia. Fortaleza, 2011
- OLIVEIRA, P. T. S.; WENDLAND, E.; NEARING, M. A. Rainfall erosivity in Brazil: a review. *Catena*, v.100, p.139-147, 2012. DOI: 10.1016/j.catena.2012.08.006.
- POLIDORO, J. C., DE FREITAS, P. L., HERNANI, L. C., DOS ANJOS, L. H. C., RODRIGUES, R. D. A. R., CESÁRIO, F. V., ... & RIBEIRO, J. L. (2020). The impact of plans, policies, practices and technologies based on the principles of conservation agriculture in the control of soil erosion in Brazil. *Authorea Preprints*.
- SALA, Osvaldo E.; PARUELO, José M. Ecosystem services in grasslands. **Nature's services: Societal dependence on natural ecosystems**, p. 237-251, 1997.
- SANTOS, R. F. (org.) **Vulnerabilidade Ambiental desastres naturais ou fenômenos induzidos**. MMA, Brasília, 2007.
- SOLOS, Embrapa. Sistema brasileiro de classificação de solos. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos: Rio de Janeiro**, 2013.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE – Diretoria Técnica – SUPREN, 1977
- TURNER, Billie L.; MEYER, William B. Global land-use and land-cover change: an overview. **Changes in land use and land cover: a global perspective**, v. 4, n. 3, 1994.

UNCCD, 2018b. Checklist for Land Degradation Neutrality Transformative Projects and Programmes. (Accessed 4 November 2018. <https://knowledge.unccd.int/sites/default/files/2018-09/LDN%20TPP%20checklist%20final%20draft%20040918.pdf>).

VITOUSEK, Peter M. et al. Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, v. 277, n. 5325, p. 494-499, 1997.

ANEXOS

Anexo I - Links

Matérias Jornalísticas

Pesquisadores da Embrapa geram mapas de suscetibilidade e vulnerabilidade dos solos brasileiros à erosão hídrica

<https://portal.datagro.com/pt/agribusiness/12/299435/pesquisadores-da-embrapa-geram-mapas-de-suscetibilidade-e-vulnerabilidade-dos-solos-brasileiros-a-erosao-hidrica>

Pesquisadores geram mapas de suscetibilidade e vulnerabilidade dos solos brasileiros à erosão hídrica

<http://www.agrisus.org.br/imprime.asp?tb=noticias&cod=2384>

Plataforma online mostra quais os solos brasileiros mais vulneráveis à erosão

<https://www.girodobo.com.br/noticias/plataforma-online-mostra-quais-os-solos-brasileiros-mais-vulneraveis-a-erosao/>

Pesquisa gera mapas de áreas suscetíveis e vulneráveis à erosão hídrica em Alagoas

<https://ruralpecuaria.com.br/noticia/pesquisa-gera-mapas-de-areas-suscetiveis-e-vulneraveis-a-erosao-hidrica-em-alagoas.html>

Veja onde estão os solos brasileiros mais vulneráveis à erosão hídrica

<https://www.canalrural.com.br/agronegocio/solos-brasil-erosao-hidrica/>

Pesquisadores geram mapas de suscetibilidade e vulnerabilidade dos solos brasileiros à erosão hídrica

<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/58207136/pesquisadores-geram-mapas-de-suscetibilidade-e-vulnerabilidade-dos-solos-brasileiros-a-erosao-hidrica>

Conversa franca: erosão dos solos – vídeos - Terra Viva – Band.com.br

<https://vtterraviva.band.uol.com.br/videos/dia-dia-rural/16888800/conversa-franca-erosao-do-solo>

Live de lançamento da Plataforma PronaSolos - Youtube

<https://www.youtube.com/watch?v=ln77eFjfcfU>

Para acessar os mapas de Suscetibilidade e Vulnerabilidade dos Solos à Erosão Hídrica do Brasil utilizar o link:

Plataforma GeoInfo

<http://geoinfo.cnps.embrapa.br/>

Plataforma PronaSolos

<https://www.embrapa.br/pronasolos>

Anexo II - Código computacional

```
/**
 * @descrição
 *
 *
 * @author
 * Patrick Calvano Kuchler
 *
 */

//////////-----Variáveis-----//////////

var uso_do_solo = ee.Image('projects/mapbiomas-workspace/public/collection5/mapbiomas_collection50_integration_v1')
var srtm = ee.Image("USGS/SRTMGL1_003")/SRTM
var solos = ee.FeatureCollection("users/geocalvano/EMBRAPA/solos_br5m_2011_lat_long_wgs84").filterBounds(AOI)
var erosividade = ee.Image("users/geocalvano/EMBRAPA/ErosividadeExtrapoladoPCK")/Erosividade Clima
var erodibilidade = ee.FeatureCollection("users/geocalvano/EMBRAPA/Erodibilidade2")
var ErodibilidadeRaster = ee.Image ("users/margarethlabex/Erodibilidade_Alagoas_Reclassify")

var biomas = ee.FeatureCollection(biomas)

var item_filtroB = "CD_LEGEN1"

var Amazonia = biomas.filterMetadata(item_filtroB,"equals","AMAZÔNIA")
var Caatinga = biomas.filterMetadata(item_filtroB,"equals","CAATINGA")
var MataAtlantica = biomas.filterMetadata(item_filtroB,"equals","MATA ATLÂNTICA")
var Pantanal = biomas.filterMetadata(item_filtroB,"equals","PANTANAL")
var Cerrado = biomas.filterMetadata(item_filtroB,"equals","CERRADO")
var Pampa = biomas.filterMetadata(item_filtroB,"equals","PAMPA")

//////////Estados//////////

var item_filtroB = "NOME"
```

```

var Acre = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Acre")
var Amapa = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Amapá")
var Amazonas = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Amazônia")
var Alagoas = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Alagoas")
var Bahia = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Bahia")
var Ceara = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Ceará")
var EspiritoSanto = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Espírito Santo")
var Goias = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Goiás")
var MatoGrossoSul = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Mato Grosso do Sul")
var MatoGrosso = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Mato Grosso")
var MinasGerais = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Minas Gerais")
var Maranhao = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Maranhão")
var Para = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Pará")
var Piaui = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Piauí")
var Parana = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Paraná")
var Pernambuco = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Pernambuco")
var Paraiba = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Paraíba")
var RiodeJaneiro = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Rio de Janeiro")
var RioGrandeSul = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Rio Grande do Sul")
var RioGrandeNorte = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Rio Grande do Norte")
var Roraima = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Roraima")
var Rondonia = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Rondônia")
var SaoPaulo = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","São Paulo")
var Sergipe = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Sergipe")
var Tocantins = Estados.filterMetadadata(item_filtroB,"equals","Tocantins")

//////////-----OTTOBACIAS-----////////////////
var BaciasCriticas = SF_Reg.filterMetadadata("BQT_CLASSE","equals","Crítica").filterBounds(AOI)
var BaciasMuitoCriticas = SF_Reg_MN.filterMetadadata("BQT_CLASSE","equals","Muito Crítica").filterBounds(AOI)

//////////-----FILTROS-----////////////////////////////////////
var ano = '2019' //Ano Map Biomias
var AOI = Brasil

////////// -----Declividade-----
var slope = ee.Terrain.slope(srtm).clip(AOI);

// Visualizar Declividade no local desejado (centralizar no Brasil)
Map.setCenter(-49.3134, -15.5325, 4); // Centralizar ALAGOAS.
//Map.addLayer(slope, {min: 75, max :90, 'slope'});

print(slope)

// Reamostragem de Valores (Fatiamento da Declividade) Segundo bibliografia indicada na metodologia (%)
var slopeclass = ee.Image(1)
  .where(slope.gt(0).and(slope.lte(1.73)), 10).clip(AOI)
  .where(slope.gt(1.72).and(slope.lte(4.57)), 20).clip(AOI)
  .where(slope.gt(4.57).and(slope.lte(11.31)), 30).clip(AOI)
  .where(slope.gt(11.31).and(slope.lte(24.23)), 40).clip(AOI)
  .where(slope.gt(24.23).and(slope.lte(36.87)), 50).clip(AOI)
  //.where(slope.gt(75).and(slope.lte(90)), 60).clip(AOI);

var slopeclass = slopeclass.mask(slopeclass.gte(10))
print('DECLIVIDADE')
print(slopeclass);

////////// -----Erodibilidade-----
//Arquivo com SCORE de Erodibilidade avaliada pelos especialistas
var ErodibilidadeRaster = Erodibilidade.reduceToImage({properties: ['CodNum'],reducer: ee.Reducer.first()})

var ErodibilidadeRaster = ErodibilidadeRaster.select([0,['class']].clip(AOI)
print('Erodibilidade')
print(ErodibilidadeRaster)
var ErodibilidadeRaster = ErodibilidadeRaster.clip(AOI)

////////// -----Erosividade-----
// Reamostragem de Valores * (Fatiamento de Valores ponderados por especialistas)
var erosividadeclass = ee.Image(1)
  .where(erosividade.gt(0).and(erosividade.lte(2452)), 100).clip(AOI)
  .where(erosividade.gt(2452).and(erosividade.lte(4905)), 200).clip(AOI)
  .where(erosividade.gt(4905).and(erosividade.lte(7357)), 300).clip(AOI)
  .where(erosividade.gt(7357).and(erosividade.lte(9810)), 400).clip(AOI)
  .where(erosividade.gt(9810).and(erosividade.lte(16582)), 500).clip(AOI)

```

```
var erosividadeclass = erosividadeclass.mask(erosividadeclass.gte(100))

print("EROSIVIDADE")
print(erosividadeclass)

////////// -----Uso do Solo-----

var uso_do_solo = uso_do_solo.clip(AOI)

// Reamostragem de Valores 1-9,00,101,102

var UsoClas =
uso_do_solo.select('classification_'+ano).remap([3,4,9,11,12,13,15,16,20,21,19,22,29,30,31,24,26,31,33,27,39,41,36],[1,2,3,4,5,6,7,8,9,100,101,102,0,0,0,0,0,0,0,101,101,
101])

//Uso do Solo multiplicado por 100
var UsoClas_1_12 =
uso_do_solo.select('classification_'+ano).remap([3,4,9,11,12,13,15,16,20,21,19,22,29,30,31,24,26,31,33,27,39,41,36],[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,0,0,0,0,0,0,0,11,11,11])

print("UsoClas")
print(UsoClas)

//////////////////////////////////////////-----OPERAÇÃO SUSCEPTIBILIDADE-----//////////////////////////////////////////

var DECLIVE_ERODIBILIDADE = slopeclass.add(ErodibilidadeRaster)
var Susceptibilidade = DECLIVE_ERODIBILIDADE.add(erosividadeclass)
print("Susceptibilidade")
print(Susceptibilidade)

//////////////////////////////////////////-----Reclass Susceptibilidade Segundo ponderação dos especialistas-----//////////////////////////////////////////

var susceptibilidadeReclass =
Susceptibilidade.remap([111,112,113,114,115,121,122,123,124,125,131,132,133,134,135,141,142,143,144,145,151,152,153,154,155,211,212,213,214,215,221,222,223,224,
225,231,232,233,234,235,241,242,243,244,245,251,252,253,254,255,311,312,313,314,315,321,322,323,324,325,331,332,333,334,335,341,342,343,344,345,351,352,353,354,3
55,411,412,413,414,415,421,422,423,424,425,431,432,433,434,435,441,442,443,444,445,451,452,453,454,455,511,512,513,514,515,521,522,523,524,525,531,532,533,534,53
5,541,542,543,544,545,551,552,553,554,555],[1,1,1,2,2,1,1,2,3,3,2,2,3,4,5,3,3,4,5,5,4,4,5,5,5,1,1,1,2,2,1,1,2,3,3,2,2,3,4,5,3,3,4,5,5,4,4,5,5,5,1,1,2,2,2,2,2,3,3,3,3,3,4,5,4,4,5,
5,5,5,5,5,1,1,2,2,2,2,3,3,3,3,4,5,5,4,4,5,5,5,5,5,5,5,1,1,2,2,2,2,2,3,3,3,3,4,5,5,4,4,5,5,5,5,5])

print("susceptibilidadeReclass")
print(susceptibilidadeReclass)

//////////////////////////////////////////-----OPERAÇÃO VULNERABILIDADE TABELA 11-152 (Chaves criadas por especialistas) -----

//-----Reamostrar vulnerabilidade 11 -152 para range de 1-5
var vulnerabilidade1_5_v3 =
vulnerabilidade11_152.remap([11,21,31,41,51,12,22,32,42,52,13,23,33,43,53,14,24,34,44,54,15,25,35,45,55,16,26,36,46,56,17,27,37,47,57,18,28,38,48,58,19,29,39,49,59,1
10,120,130,140,150,111,121,131,141,151,112,122,132,142,152],[1,1,2,3,3,2,2,3,2,2,3,3,4,4,2,2,2,3,3,2,2,3,3,2,2,3,3,4,4,2,2,3,4,4,3,3,4,5,5,3,3,4,5,5,3,3,4,5,5,3,4,4,5,
5])

print("Vulnerabilidade 1-5 versao 3")
print(vulnerabilidade1_5_v3)

//////////////////////////////////////////-----Adicionar AO Mapa-----//////////////////////////////////////////

//Map.addLayer(slopeclass,{min: 10, max: 50, palette: ['green', '#80ff60', 'yellow', 'brown', 'red'],"DECLIVIDADE")
//Map.addLayer(ErodibilidadeRaster,{min: 1, max: 5, palette: ['green', '#80ff60', 'yellow', 'brown', 'red'],"ERODIBILIDADE")
//Map.addLayer(erosividadeclass,{min: 100, max: 500, palette: ['green', '#80ff60', 'yellow', 'brown', 'red'],"EROSIVIDADE")
//Map.addLayer(Susceptibilidade,{min: 111, max: 555, palette: ['green', '#80ff60', 'yellow', 'brown', 'red'],"SUSCEPTIBILIDADE")
//Map.addLayer(susceptibilidadeReclass,{min: 1, max: 5, palette: ['green', '#80ff60', 'yellow', 'brown', 'red'],"SUSCEPTIBILIDADE Reclass")
//Map.addLayer(vulnerabilidade1_5,{min: 1, max: 5, palette: ['green', '#80ff60', 'yellow', 'brown', 'red'],"Vulnerabilidade VERSÃO01")
Map.addLayer(vulnerabilidade1_5_v3,{min: 1, max: 5, palette: ['green', '#80ff60', 'yellow', 'brown', 'red'],"Vulnerabilidade")

//Map.addLayer(vulnerabilidade11_152,{},"vulnerabilidade11_152")
//Map.addLayer(vulnerabilidade11_512,{},"vulnerabilidade11_512")
//Map.addLayer(vulnerabilidade11_512,{},"vulnerabilidade101_512")

//////////////////////////////////////////-----Áreas Especiais Máscaras Raster-----//////////////////////////////////////////

//var MascaraDeclive_75 = slopeclass.mask(slopeclass.gte(75))

//var MascaraDeclive_75 = ee.Image(1)
//.where(slopeclass.gt(36.87), 1)

var MascaraDeclive_75 = ee.Image(1)
.where(slope.gt(46).and(slope.lte(200)), 0)

var MascaraDeclive_75 = MascaraDeclive_75.mask(MascaraDeclive_75.eq(0))
```



```
Export.image.toDrive({
  image: vulnerabilidade1_5_v3.uint8(),
  description: 'vulnerabilidade1_5_v3_AOI_01',
  fileNamePrefix : 'vulnerabilidade1_5_v3_AOI_01',
  folder: 'Vulnerabilidade',
  scale: 30,
  maxPixels: 1e13,
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  region: AOI01,
});
```

```
Export.image.toDrive({
  image: vulnerabilidade1_5_v3.uint8(),
  description: 'vulnerabilidade1_5_v3_AOI_02',
  fileNamePrefix : 'vulnerabilidade1_5_v3_AOI_02',
  folder: 'Vulnerabilidade',
  scale: 30,
  maxPixels: 1e13,
  fileFormat: 'GeoTIFF',
  region: AOI02,
});
```