

O PAPEL DOS SOLOS NA AVALIAÇÃO DE PERIGO E RISCO DE DESASTRES

Ana Christina Wignerom Gimenes¹

Antonio Celso de Oliveira Goulart²

André Luiz Nascentes Coelho³

1 Introdução

As ciências do solo representam um dos vastos campos de estudos de fundamental interesse em várias áreas do conhecimento, como a Agronomia, Geografia Física, Engenharia Civil, Geologia, Química, Biologia, entre outras, oferecendo apoio, em suas múltiplas dimensões de atuação. Os diferentes objetivos e demandas cada vez maiores e de maior complexidade têm permitido transdisciplinaridade com aplicações de métodos e técnicas antes restritas. Os resultados desses estudos se constituíram referências nas pesquisas que orientam a compreensão das condições que tornam o ambiente pedológico mais instável, no caso das dinâmicas de perigo e risco envolventes.

Ainda que a fragmentação dessas diferentes áreas tenha possibilitado alguns avanços, admitiu também alguns prejuízos à interdisciplinaridade muitas vezes desejada. Em que pese as questões de perigo e risco, os objetivos de uma determinada pesquisa, geralmente, se regem pela própria demanda. Esses sim reunirão as principais perguntas a serem formuladas voltadas à resiliência. Do mesmo modo, a desintegração e a exclusão simultânea nos processos e resultados do avanço do conhecimento se manifestam algumas vezes entre a oferta do conhecimento em destaque e a demanda deste pela sociedade, em instituições científicas na promoção de investigações em pesquisas de base e aplicadas, e nas prefeituras, Defesas Cívicas, governos, poder legislativo, cooperativas, agricultores, técnicos de órgãos públicos, professores e moradores, atuantes em seus lugares e espaços.

A identificação do funcionamento dos solos como uma das abordagens para a avaliação dos perigos e dos riscos de desastres é o tema principal da discussão proposta nesse texto. As limitações enfrentadas para uma assimilação das dinâmicas do solo pela sociedade, a princípio, vêm de duas maneiras. A primeira delas, na observação e no reconhecimento dos solos com as suas diferentes estruturas, na distinção das condições intrínsecas ao tipo de aplicação anunciada e no pequeno detalhamento dos mapeamentos de solos existentes atualmente. Nesse último, surgem em um mesmo

1 Docente da Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento e Programa de Pós-Graduação em Geografia - Laboratório de Gestão em Redução de Risco de Desastres - LabGR2D/CEPEDES-UFES, Laboratório de Geografia Física - LGF-UFES e Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias LCGGEO. E-mail: acw.gimenes@gmail.com.

2 Docente da Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento e Programa de Pós-Graduação em Geografia - Laboratório de Gestão em Redução de Risco de Desastres - LabGR2D/CEPEDES-UFES, Laboratório de Geografia Física - LGF-UFES e Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias LCGGEO. E-mail: celsoliveiragoulart@gmail.com.

3 Docente da Universidade Federal do Espírito Santo. Departamento e Programa de Pós-Graduação em Geografia - Laboratório de Gestão em Redução de Risco de Desastres - LabGR2D/CEPEDES-UFES, Laboratório de Geografia Física - LGF-UFES e Laboratório de Cartografia Geográfica e Geotecnologias LCGGEO. E-mail: alnc.ufes@gmail.com.

polígono do mapa pedológico várias classes de solos desprovidas de limites entre si. A segunda, na redução da participação da comunidade em discussões locais sobre os processos, sejam eles de erosão, movimentos de massa, inundações, estiagem, incêndios, sejam aqueles relacionados a moradia, geração de renda, necessidade de equipamentos urbanos, locais de lazer, áreas industriais, de aterro sanitário, de tratamento de água e esgoto, entre outros. Essas têm dificultado uma solução executável para a superação/mitigação dos problemas que envolvem perigo e risco, sobretudo, nos municípios, cidades, estradas e propriedades agrícolas.

O modo como uma pessoa interfere no solo, até certo ponto, revela como se mostra afetado por ele. E, de fato, tem sido visto de forma diferente entre as distintas áreas do conhecimento e também entre os que lidam com a terra e aqueles que a tem apenas em seu imaginário. Segundo Kämpf e Curi (2012a):

“Geralmente, as pessoas têm algum entendimento do significado do termo solo, pois é uma característica do ser humano reconhecer e entender um objeto conforme aprendeu a olhá-lo e a manipulá-lo” (KÄMPF; CURÍ, 2012a, p. 1).

Um processo evolucionário, presente na topofilia⁴ descrita por Tuan (2015), apresenta-se como categorias simples baseadas nas percepções que integram os esquemas de complexidade crescente, e cujo foco está na estruturação da natureza segmentada, uma vez que a ideia de uma unidade primordial e harmônica favorece a compreensão básica de como as pessoas reagem às incertezas durante os eventos naturais e é dependente dessa condição. Essa percepção tem valor para a nossa sobrevivência e, também, para propiciar algumas satisfações que estão enraizadas na nossa cultura. Vivenciar as adversidades ambientais, entretanto, muitas vezes contraria aceitação das diferentes intervenções notadamente equivocadas no lugar, revelando-se conflitantes com as aptidões reconhecidas nos relatórios técnicos impeditivos de ocupação, ou mesmo de uma percepção de perigo e de risco consciente do local. Segundo o próprio Tuan (op. cit.), a atitude é primariamente uma postura cultural, que se toma frente ao mundo, pois compreende uma maior estabilidade de que a percepção é formada de uma longa sucessão de percepções, isto é, de experiências. É por essa razão que a estimativa das áreas perigosas à moradia, instalações urbanas, estradas ou até mesmo cultivos agrícolas devem considerar a atuação em planejamento em uma escala local e a percepção das pessoas por meio de suas vivências.

O fato das adversidades ambientais terem raramente sido pensadas no planejamento do espaço, nos colocou em uma condição de conflitos e perdas, das quais humanas e materiais, nas relações com esses espaços. Ressaltam-se como fundamentais os métodos para investigação e identificação das instabilidades, seja pelas condições intrínsecas das zonas de fraqueza das rochas, dos materiais inconsolidados e das coberturas de superfície, seja pelas modificações antrópicas que afetam a forma do relevo, a estrutura dos materiais e os processos. Como efeito de processos naturais ou antrópicos temos os movimentos de massa, as inundações, os incêndios em turfeiras ou as *badlands* antrópicas (termo usado aqui para áreas de erosão laminar intensa, em alusão às *badlands* naturais), em que a verificação das condições deflagrantes traduz-se em uma das demandas.

A identificação da variação espacial das estruturas se torna imprescindível no entendimento dos limiares de processos e dos indicativos de instabilidades, aplicados às ações inclusivas nos mecanismos de planejamento/intervenções. A pedologia, estudo das características macro e micromorfológicas, gênese, evolução e ocorrências/classificação dos solos, se volta à compreensão das condições intrínsecas que mostra um determinado funcionamento sinérgico entre os componentes. Por isso, aplica-se à visualização das potencialidades e das limitações dos ambientes, sendo possível ser

somada a outras ciências do solo, como a física, química, mineralogia, geoquímica e manejo do solo, e de outras áreas, por exemplo, a geomorfologia, biologia, biogeografia, climatologia, dependendo do tipo de questão a ser averiguada, restauração ou mitigação. Como aplicações às necessidades da sociedade, são enfatizadas as características morfológicas e físicas do solo (OLIVEIRA, 2011) e a pedogênese (KÄMPF; CURI, 2012b).

2 Os materiais de origem do solo e a pedogênese

Na descrição de um perfil de solo (SANTOS *et al.*, 2015) e nos relatórios técnicos dos mapas pedológicos ou de levantamento de reconhecimento dos solos constam informações sobre os materiais de origem desse corpo. Mas, até que ponto isso importa nas análises das áreas de menores ou maiores instabilidades ou graus de perigo e de risco? Na literatura aceita-se e entende-se como materiais de origem de um solo: a) rochas (Figura 1), b) matéria orgânica, como no caso dos Organossolos (Figura 2), pelo Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (EMBRAPA, 2018) e c) materiais tecnogênicos, como materiais de aterro, ruínas de construções, lixões, sambaquis, “terra preta de índio”, materiais diversos em sua maioria se considerados os limites internos, as estruturas, as composições químicas, as texturas, as frações granulométricas e as mineralogias.

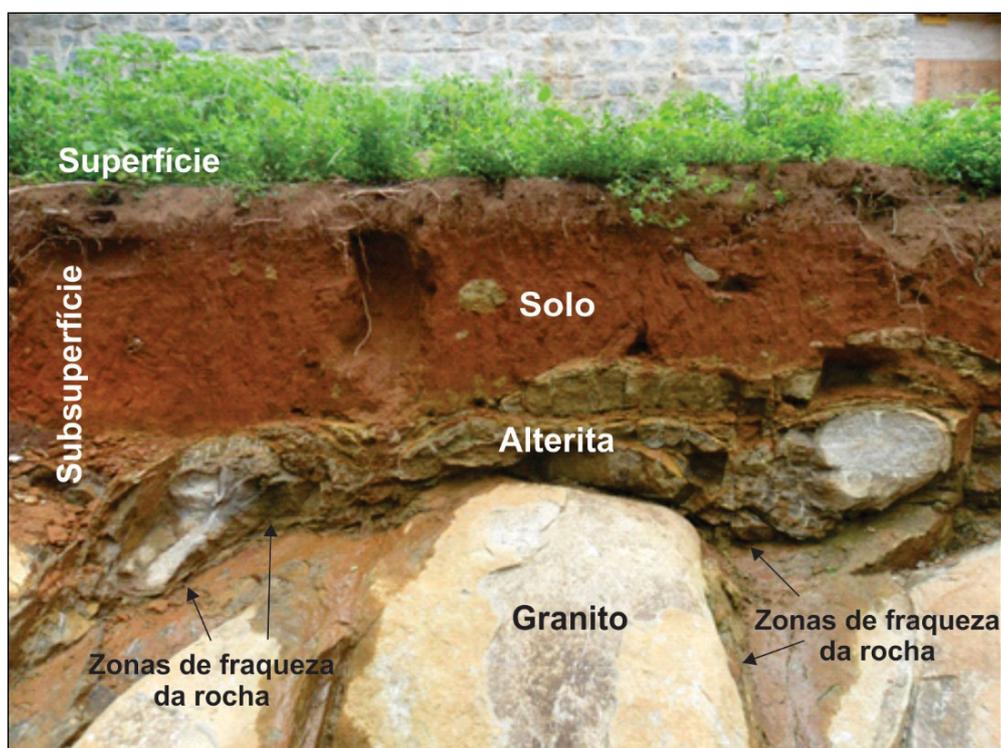


Foto: autores.

Figura 1. Perfil vertical, mostrando a transformação de rocha em solo. Granito-Alterita-Solo. Material de origem do solo: rocha. As zonas de fraqueza do granito favorecem a entrada da água e solutos, a transformação de minerais primários em minerais secundários e os processos pedogenéticos responsáveis pelas características atuais do solo. 22/03/2008. Fradinhos, Vitória, Espírito Santo, Brasil.

Um quarto material de origem refere-se ao próprio material de um solo já formado. Isso ocorre em alguns locais sob condições especiais (mudança climática, tectônica ou auto-organização) propícias a perdas ou ganhos geoquímicos, translocações, entre outros processos, de modo que uma classe de solo em sua dinâmica evolutiva modifica suas características estruturais morfológicas, físico-químicas e mineralógicas, evoluindo

para uma outra classe de solo. Retratando uma condição como esta estão os modelos de cobertura pedológica em equilíbrio e de sistemas pedológicos em transformação (BOCQUIER, 1973; BOULET, 1974; BOULET; CHAUVEL; LUCAS, 1984; BOULET *et al.*, 1997). Enquanto as coberturas pedológicas em equilíbrio representam aqueles solos originados de rochas, materiais orgânicos ou materiais antrópicos, os sistemas pedológicos em transformação manifestam solos originados de outros solos que antes eram coberturas pedológicas em equilíbrio, como Argissolos ou Latossolos transformados em Espodosolos ou de Latossolos transformados em Argissolos. Atestam, contudo, uma condição favorável à transformação de um conjunto de processos pedogenéticos.

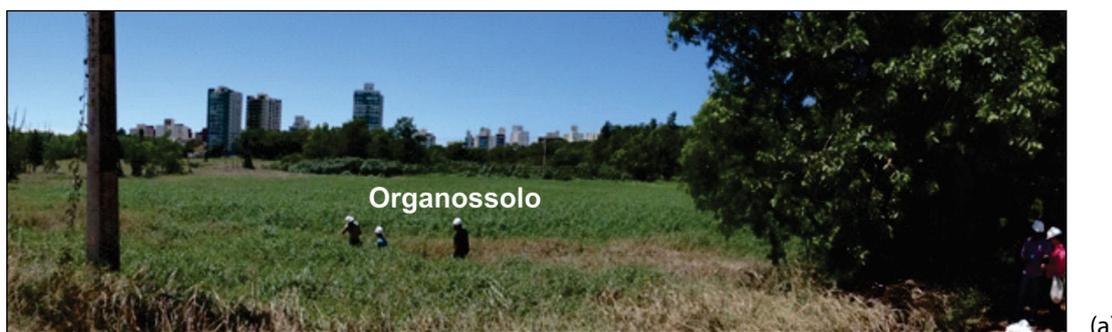


Foto: autores.

Figura 2. Relevo de fundo de vale embaciado com presença de Organossolo, em clima tropical. Lençol freático raso. Material de origem: matéria orgânica. Processo pedogenético: paludização. Sítio Aeroportuário de Vitória - Eurico de Aguiar Salles, Vitória, Espírito Santo, Brasil. 22/08/2016.

Em qualquer modelo, cada um dos limites em profundidade (no perfil vertical) ou lateralmente (em topossequência) revela um local a ser apurado em seus potenciais de fragilidade ou instabilidades e mudanças nos processos, como erosão, movimentos de massa ou inundações. Esse mesmo raciocínio circunscreve condições de fragilidade nos limites dos pedons, por suas mudanças de estruturas e funcionamento interno.

Tanto as coberturas pedológicas em equilíbrio quanto os sistemas em transformação resultam da pedogênese como integração de processos. Kämpf e Curi (2012b) acentuam a vinculação conceitual do solo aos processos intrínsecos:

“A pedogênese é entendida como uma integração de processos pedogenéticos específicos, cada qual capaz de criar na fase sólida do solo um conjunto de características pedológicas” (KÄMPF; CURI, 2012b, p. 14).

Nas chamadas áreas úmidas, em Organossolos (Figura 2), Gleissolos (Figuras 3) e Espodosolos (Figura 4), com presença de lençol freático raso e afloramentos da água na superfície nos períodos de chuva, a importância da preservação está relacionada à dinâmica, porque exercem a função de captação das águas de superfície e subsuperfície, minimizando alagamentos e inundações das áreas circunvizinhas, além do papel regulador do nível piezométrico. As características morfológicas, físicas e composição do solo irão contribuir para a retenção, tempo de permanência e níveis da água internamente.

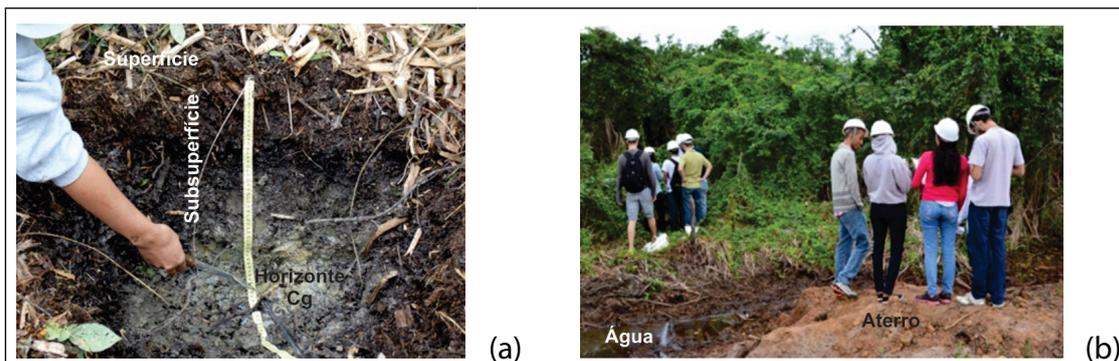


Foto (a) e (b): autores.

Figura 3 (a) e (b). Gleissolo (a). Textura muito argilosa. Relevo plano em fundo de vale (b). Material de origem: mineral. Cor cinzenta em profundidade diagnóstica, característica do processo de gleização (a). Aterro (b) sobre Gleissolo realizado para construção de vias internas. Sítio Aeroportuário de Vitória - Eurico de Aguiar Salles, Vitória, Espírito Santo, Brasil. 22/08/2016.

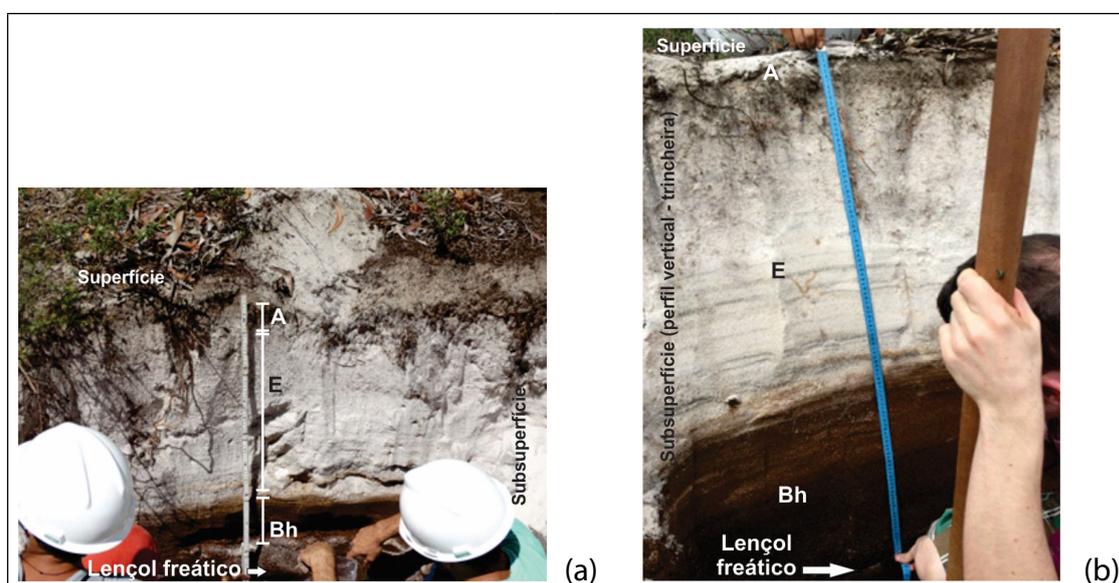


Foto (a) e (b): autores.

Figura 4 (a) e (b). Espodosolo Humilúvico (sequência de horizontes A-E-Bh) (a). Horizonte A (organo-mineral), horizonte E (eluviação) e Bh (acúmulo subsuperficial de matéria orgânica). Relevo: terraço. Material de origem: mineral. Sedimentos de origem marinha. Processo: podzolização. Lençol freático raso. Sítio Aeroportuário de Vitória - Eurico de Aguiar Salles, Vitória, Espírito Santo, Brasil. 22/08/2016.

Uma outra questão do funcionamento dos solos para minimização de desastres trata da erosão e dos movimentos de massa. Na pedologia, a erosão, atingindo todas as classes de solos e definida como a remoção de partículas sólidas por ação eólica ou hídrica, com ou sem interferência humana, refere-se a um dos processos pedogenéticos específicos. Portanto, a identificação da origem e a intensidade se tornam importantes nos modelos. Incluímos nesse contexto (da erosão) os chamados “movimentos de massa” que são remoções de material sólido, movimentos coletivos, rápidos ou lentos. Ainda que mude a terminologia entre as áreas de conhecimento, os objetivos e os métodos podem ser os mesmos em sua transdisciplinaridade. Enquanto na pedologia a erosão é um dos processos pedogenéticos específicos (BUOL *et al.*, 1997; BOCKHEIM; GENNADIYEV, 2000; KÄMPF; CURI, 2012b), somada aos chamados movimentos de massa, na geomorfologia aparecem como processos geomorfológicos (alteração de formas de superfície), na geologia, processos geológicos exógenos (alteração

de propriedade geológica) e na engenharia, processos geotécnicos (alteração da capacidade de suporte de atividade).

A teoria e os conceitos trabalhados na pedologia advêm dos estudos sobre as condições em que a dinâmica interna se manifesta e qualquer esforço têm surgido no sentido de estudá-lo em si mesmo. Essa afirmação coloca os modelos de biostasia e resistasia e o modelo paleoclimático tradicional, em desconexão com a compreensão do solo, necessitando de outras abordagens afinadas com os processos internos como foco de análise, complementar ou mesmo excludente.

Para que um solo tenha surgido foi necessário a ocorrência de processos pedogenéticos, quando ao menos um horizonte pode ser formado. Johnson e Watson-Stegner (1987) explicam duas vias de pedogênese, uma progressiva e uma outra regressiva. A pedogênese progressiva favorece a horizontalização, em que as condições e processos promovam perfis organizados. Utilizando-se da noção de sistemas complexos, defendem que ocorram pedoturbações proanisotrópicas, admitindo auto-organizações intrínsecas do solo. Numa via em que há o favorecimento de uma pedogênese regressiva, retratam a simplificação em perfis menos diferenciados, onde os processos e condições promovam um retardo ou um rejuvenescimento do perfil, em pedoturbações proisotrópicas, e também considerando as auto-organizações intrínsecas.

O conceito de pedogênese progressiva e regressiva associa-se mais uma vez a um outro contexto, o do estudo das transformações pedológicas e transições. Nos sistemas pedológicos em transformação, enquanto no solo inicial (material de origem) a pedogênese se apresenta em processo de regressão, no solo mais novo, desenvolvido às custas do primeiro, acentua-se uma pedogênese progressiva, segundo sua organização própria. Um exemplo disto são os horizontes B texturais que gradativamente deixam de existir, possibilitando o surgimento de horizontes E de eluviação, como no caso das transformações de Argissolos em Espodossolos pesquisadas por Gimenes *et al.* (2019).

Estudos de mineralogia da argila pedológica por neoformação, realizados por Lucas *et al.* (1993) mostraram que um modo de pedogênese regressiva pode vir da influência da atividade biológica em floresta pluvial, contribuindo para adições de silício nos horizontes superficiais do solo, diminuindo a transformação caulinita-gibbsita esperada em solos muito intemperizados resultantes da ferralitização.

A ideia de uma via em pedogênese progressiva é de um comportamento contínuo e favorável ao avanço pedogenético. Já em um solo raso, geralmente, implica em pouca diferenciação do perfil e erosão laminar (“em lençol”) ou erosão por escoamento difuso que se faz de modo mais pronunciado, além da disponibilidade constante de minerais a sofrerem transformações (mecânicas, químicas e mineralógicas). Assim, Nos Neossolos Litólicos (A-C-R ou A-R) e nos Cambissolos (A-Bi-C) predomina uma pedogênese regressiva. Nos Latossolos, solos profundos medianamente diferenciados (A-Bw-C) pela própria condição pedogenética do solo no processo de ferralitização (dessilicação e oxidação), e nos Argissolos, bem diferenciados (A-E-Bt-C), por argiluviação, elutriação ou outro processo que tenha permitido o acúmulo de argila no horizonte B, uma pedogênese progressiva foi mais atuante no desenvolvimento do solo. Outros perfis considerados muito diferenciados, ainda que com poucos horizontes em sua configuração, incluem aqueles com intensa acumulação relativa por processos pedológicos, como na formação de calcita e outros, e aqueles com cimentação presente em um ou mais horizontes do solo.

As vias de pedogênese progressiva e regressiva, a nosso ver, alcançam a dimensão processual multiescalar, por isso espera-se a sua identificação iniciando-se pela observação do perfil de solo em campo. A observação e descrição têm ocorrido de dois pontos de vista, num perfil vertical, de cima para baixo, e num perfil lateral, de montante para jusante. A profundidade da coleta (0-10 cm, de 0-200 cm ou até a rocha sã) e a posição no perfil (por exemplo, no meio de cada horizonte, a cada 20 cm e ou nas transições de cada horizonte) dependerá do objetivo da pesquisa.

Alguns exemplos de pedogênese regressiva ocorrem sob determinadas condições específicas de processos ou conjunto de processos: a) erosivos difusos, como nas *badlands* antrópicas (Figura 5), crescentes de cima para baixo e condicionados por fluxos hídricos superficiais difusos, b) erosivos concentrados, como nas voçorocas (Figura 6), de crescimento remontante (de jusante para montante) e, principalmente, de baixo para cima, genética e principalmente associadas a fluxos hídricos subsuperficiais com formação de *pipes* (dutos internos no solo) com remoção de material inconsolidado, podendo também sofrer incisão superficial por meio de fluxos hídricos concentrados; nas ravinas, sobretudo por fluxos hídricos superficiais concentrados, em zonas preferenciais, c) movimentos de massa (Figuras 7, 8 e 9), como nos escorregamentos e fluxos de lama, por saturação de água da chuva ou da frente de saturação no solo e perda de coesão e atrito; *creep* (rastejamento) por ação da gravidade; queda de blocos (tombamento, rolamento), por deslocamento em zonas de fraqueza das rochas e descalçamento de blocos, por ação da gravidade; tração/fenda de tração (queda de solo seco), por ação da gravidade; abatimento, por ação da gravidade e d) elutriação, pela retirada de argila e silte fino, no horizonte A do perfil do solo.

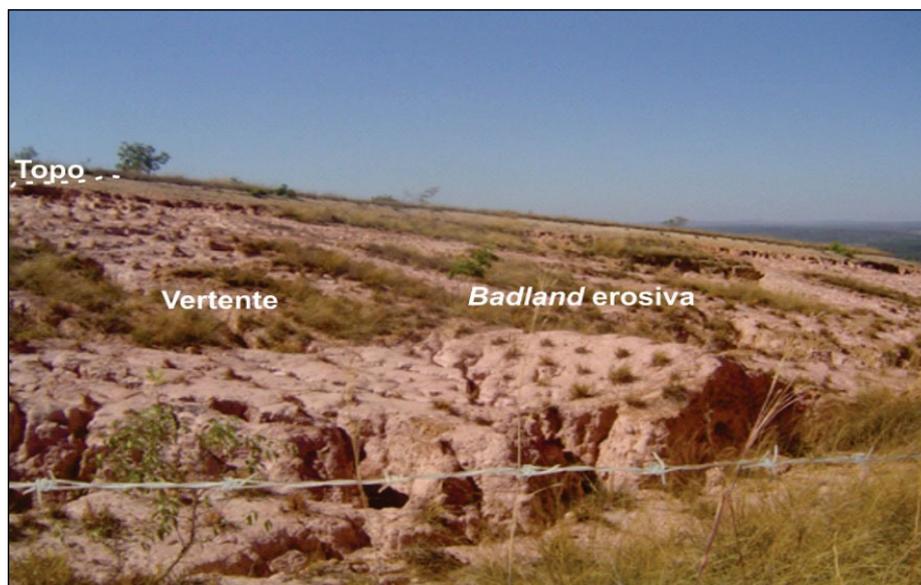


Foto: autores.

Figura 5. *Badland* erosiva de origem antrópica. Pedogênese regressiva. Grupo Bambuí, imediações de Sete Lagoas, Minas Gerais. 02/07/2011.

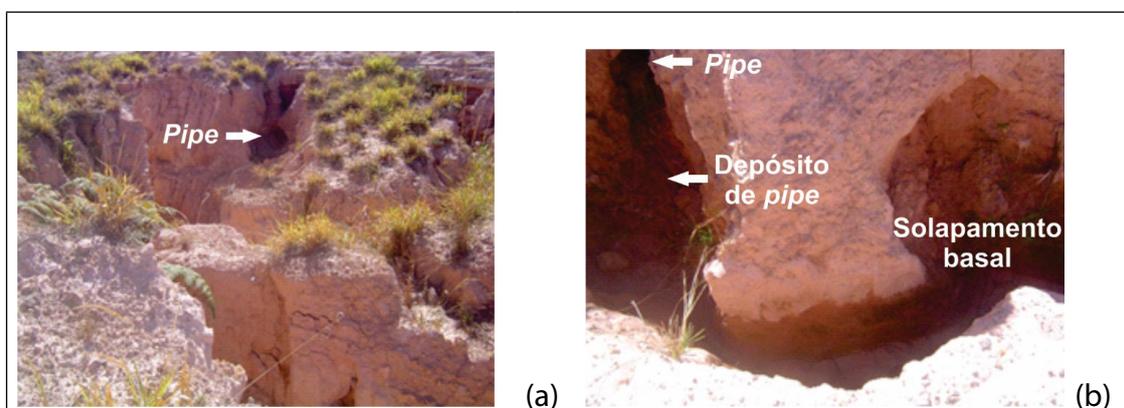


Foto (a) e (b): autores.

Figura 6 (a) e (b). *Pipes* ou dutos de voçoroca, seguido de abatimentos (a). *Pipes*, depósito de *pipe* e solapamento basal (b). Grupo Bambuí, imediações de Sete Lagoas, Minas Gerais. 02/07/2011.



Foto: autores.

Figura 7. Queda de blocos. Deslocamento em falésia rochosa nas zonas de fraqueza da rocha. Superfície de ruptura: rocha. Mangueira, Mimoso do Sul, Espírito Santo, Brasil, 2017. Evento: 14/12/2016, às 4 h 00 min. Foto: 24/12/2016.

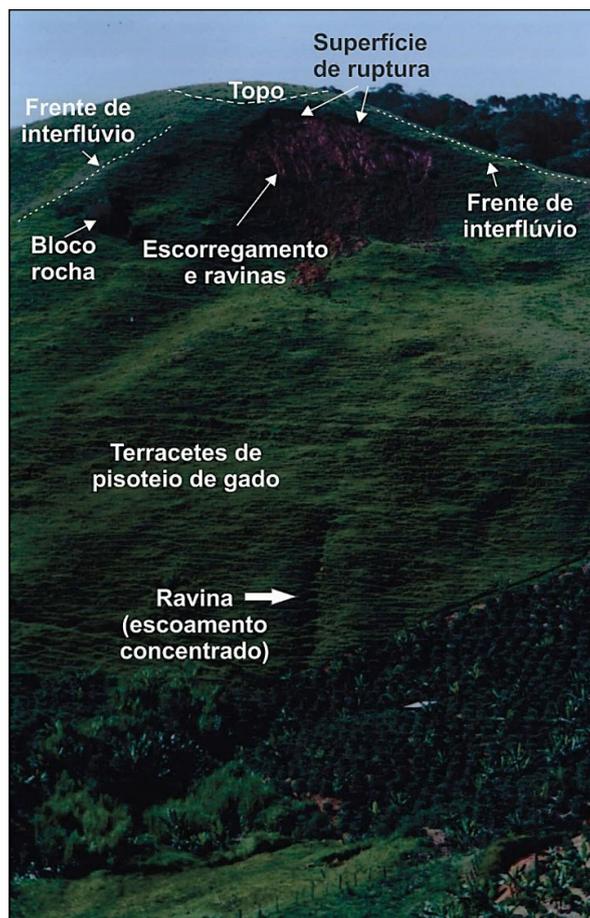


Foto: autores.

Figura 8. Escorregamento, e posterior ravinamentos. Alfredo Chaves, Espírito Santo, Brasil. 02/06/2002.

Esse tipo de pedogênese regressiva impõe redução ou rebaixamento do solo ao mesmo tempo que promove adições de materiais nos locais de menor energia, contribuindo para o espessamento das formações superficiais, das quais depósitos de movimentos de massa, colúvios e colúvio-alúvios, sobre outros materiais pré-existentes. Nestes locais, a pedogênese continua, porém, apresentando a parte superior mais nova e menos evoluída.

Os depósitos de material tecnogênico (aterros, lixões, depósitos de rejeito de mineração, ruínas de construções, destroços, entre outros), dependendo da espessura irão formar Antropossolos (EMBRAPA, 2004), pelo chamado processo de antrossolização, iniciando em um tempo zero na idade do novo solo formado. Nesses solos os processos pedogenéticos acontecem, transformando as partículas sólidas por intemperismo químico, pedoturbação, elutriação e erosão, com avanço na pedogênese. Quanto ao solo enterrado, as alterações modificam as estruturas pedológicas, a atividade biológica, o funcionamento hídrico, o nível piezométrico, as translocações internas, a pedoturbação e a mineralogia pelas novas adições.

A identificação da estrutura, da direção da pedogênese e do comportamento do solo indica o funcionamento hídrico interno, a presença de ambientes frágeis passíveis de ruptura, as alterações no meio, assim como as intervenções possíveis em ambientes estáveis, de modo a manter seu funcionamento interno com segurança, como na definição de profundidades de cortes nas vertentes, áreas seguras para ocupação, definição de áreas passíveis de serem represadas e outras de serem drenadas.



Foto (a): Fredherico Moreno Serri Costa, Cabo Bombeiro Militar. Foto (b) e (c): Cristiane Tinoco, Defesa Civil Estadual.

Figura 9 (a), (b) e (c). Movimentos de massa do tipo queda de bloco, por queda livre. Superfície de deslocamento e deslizamento do bloco ocorreu na superfície do solo e entre duas vertentes laterais (a). Depósito: bloco placóide de rocha de tamanho matacão (b). Destroços de residência (c). Taquaruçu, Vargem Alta, Espírito Santo, Brasil. Evento: 03/01/2020, às 18 h 30 min.

Solos com presença de turfas como alguns Organossolos e Gleissolos, estão sujeitos a combustão em subsuperfície, muitos deles próximos a residências, resultando em prejuízos à saúde humana e de animais. Alguns eventos de incêndios registrados nos solos próximos a Vitória, em Serra (ES), ocorreram em uma planície flúvio-marinha de Gleissolos Sódicos Hidromórficos (antes Solonchak Sódico). Duas condições protegem a turfa abaixo da combustão, das quais a textura muito argilosa que mantém a umidade do solo por longo período e a presença de lençol freático pouco profundo e afloramentos dessa água nos períodos de chuva. A apenas 30 cm de profundidade um horizonte mosqueado cinzento e avermelhado revela a parte superior da zona de oscilação do lençol freático. Em períodos de estiagem ocorre o rebaixamento desse lençol e susceptibilidades a queimadas e incêndios (naturais ou não) e queima da turfa. Desvendar a organização própria de cada ambiente se torna útil ao entendimento dessas interações. Em situações de aterros, poderá ocorrer interferências no lençol freático, colocando a turfa em risco. A influência dos aterros sobre o rebaixamento do lençol ou sua total expulsão e os efeitos sobre a queima da turfa devem ser qualificados.

O solo como estruturante expõe os processos, tornando-se funcional, e o modo como ele se processa resulta na auto-organização, em analogia ao que se discute em Dumouchel e Dupuy (1983). Das interações entre os constituintes emergem padrões ordenados e os processos pedológicos, autônomos e auto organizados, promovem evolução integral. Logo, o curso dessa evolução dependerá de fatores naturais e ou antrópicos, em uma organização temporal, espacial e funcional. O entendimento da dinâmica por estruturas dissipativas (PRIGOGINE, 1982) justificaria a evolução pedológica dos solos, manifestando sua complexidade.

Vasconcellos, Rodrigues e Luzzi (2015) salientam que devemos incorporar leis características para a descrição de sistemas, evidenciando-se a auto-organização macroscópica e aponta duas questões, do ponto de vista da física, destacando qual a origem microscópica das transições e como podemos descrevê-las a nível teórico e numa análise rigorosa.

Em sistema não linear o que se procura observar são as concentrações e as não homogeneidades. Em convergência ao que apontam Vasconcellos, Rodrigues e Luzzi (2015) em estudos alusivos a outras ciências:

“Nas reações químicas a não-linearidade está relacionada com a concentração de reagentes, e a condição crítica depende das afinidades químicas, e no caso em que inhomogeneidades estão presentes, depende também do coeficiente de difusão. Nos dispositivos físicos a não-linearidade aparece nas funções de distribuição dos componentes elementares (moléculas, átomos, elétrons, quasi-partículas, etc.), e a condição crítica é determinada pela intensidade dos campos aplicados (VASCONCELLOS; RODRIGUES; LUZZI, 2015, p. 2314-9)”.

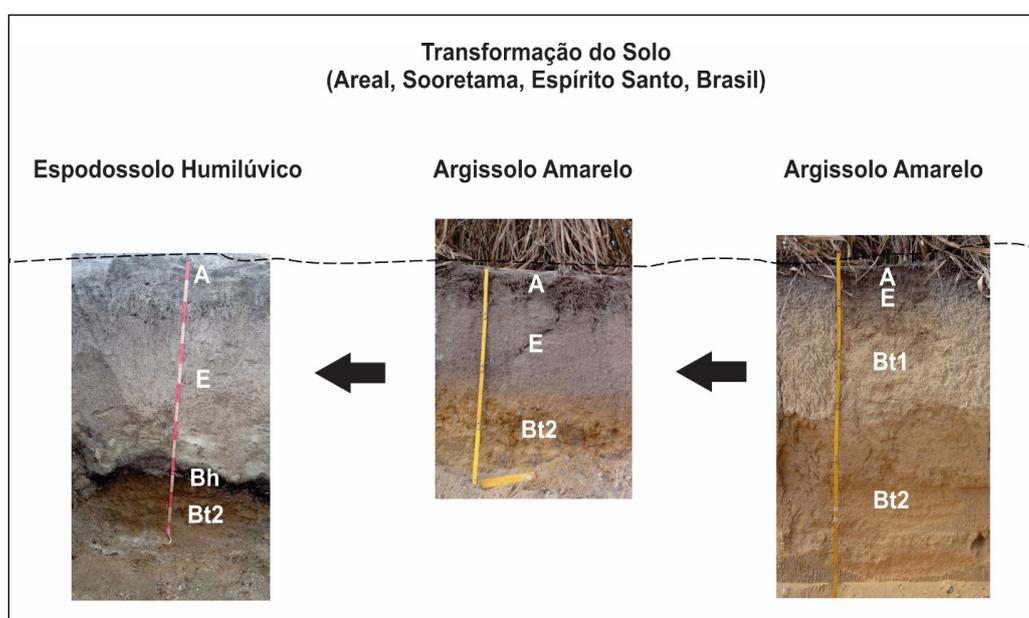
Os solos (coberturas pedológicas em equilíbrio e sistemas pedológicos em transformação), pela abordagem com base em estruturas dissipativas, reconhecíveis como unidade de análise, são dissipadas e renovadas. As interações entre os processos pedogenéticos criam determinadas condições de evolução.

Nessa perspectiva, os métodos de delimitação do sistema levariam em consideração: 1) seu comportamento inferido a partir do todo, e não das partes, 2) a identificação dos componentes, 3) a identificação das escalas, 4) a identificação dos comportamentos comuns, 5) a auto-organização e 6) a identificação de padrões de comportamento.

Mantida a ideia de olhar o solo como um todo, e não apenas partes dele, estudos atestam a influência da morfologia e tamanho dos agregados pedológicos (arredondados/

microagregados e em blocos) sobre a existência de descontinuidades hidráulicas no perfil do solo (BARRETO; GIMENES; GOULART, 2019) e retenção de água no solo (CARVALHO, 1998). A textura, a consistência, o caráter coeso, a cimentação e a mineralogia da argila também são objeto de análise no entendimento do comportamento hídrico do solo.

As interações entre os elementos do solo, os processos e as condições específicas são reveladas por meio de métodos da pedologia, química, mineralogia e física do solo. Alterações mineralógicas de argilas podem resultar em elevação do adensamento do solo em profundidade, influenciando na formação de lençol freático temporário, como o verificado no Espodossolo do Areal em Sooretama no Espírito Santo (Figura 10), importantes na avaliação de riscos de inundações como aquelas ocorridas em 2019 em área de plantio de pimenta-do-reino (GIMENES *et al.*, 2019). O Espodossolo nessa área foi derivado da transformação do Argissolo Amarelo Distrocoeso com horizonte de eluviação, resultando em solos arenosos, por meio da destruição de argilas pelos processos de acidólise e ferrólise, até a formação do horizonte arenoso E e Bh do Espodossolo. Tem-se, não apenas a estrutura, mas o funcionamento do solo como indicativo de instabilidades ou de fragilidades que interferem no uso da terra.



Fotos: autores.

Figura 10. Transformação Argissolo-Espodossolo e alteração mineralógica de argila. Bt2 maciço coerente, adensado, muito compactado a extremamente compactado, relação textural abrupta e formação de lençol freático temporário no Espodossolo. O afloramento da água resultou em inundações no Espodossolo em plantio de pimenta-do-reino. 06/10/2018. Areal, Sooretama, Espírito Santo, Brasil.

Um lençol freático raso pode emergir de uma relação textural abrupta também nos Planossolos, aumentando a desestruturação de argilas no topo do B plânico, acentuando ainda mais o aumento da relação textural em um mecanismo de auto-organização. Nesse sistema o lençol é uma propriedade emergente, bem como a destruição da argila. Fato similar, com aumento da relação textural (não abrupto), foi entendido para os solos da Reserva Biológica de Sooretama (GIMENES, 2014), entre os horizontes A e B textural coeso (Bt1) e no topo deste último, ligeiramente mais claro, no Argissolo Amarelo Distrocoeso e no Argissolo Acinzentado Distrocoeso abrupto dúrico, interpretado pela diminuição da infiltração no perfil do solo, acidólise e destruição da argila. Na teoria discutida, solos nessas condições representam complexidade emergente. De outro modo, solos com

desenvolvimento evolutivo constante nas transformações material de origem-solo e que preservam sua estrutura original são representativos de uma simplicidade emergente, não importando qual a classe de solo.

3 Métodos nas ciências do solo aplicados a percepção de perigos

Na biodinâmica o solo possui significado funcional e as interações são contínuas, importante para a manutenção da vida:

“O solo faz a transição entre a rocha e a superfície (biosfera). A argila leva o arquétipo da forma viva de baixo (rocha-argilogênese) para cima (biosfera, agrosfera), numa corrente ascendente” (MIKLÓS, 2017, p. 109).

A percepção sensorial (MIKLÓS, 2001) tem sido negligenciada ou menos priorizada. A valorização da observação das estruturas dos solos como método de estudo na fase inicial, vem do fato de ser a primeira referência que representa toda a sequência de análises e intervenções posteriores.

Adicionados a outros parâmetros (geomorfológicos, climáticos, biológicos, do manejo e dos mapeamentos), o Quadro 1 sistematiza algumas análises, em que a descrição do perfil de solo e a pedogênese se inserem, utilizadas em estudos sobre perigo e risco de desastres.

Quadro 1. Exemplos de investigações de processos nas ciências do solo. 1 – Ravinas e *badland*; 2 – Voçorocas; 3 – Movimentos de massa; 4 – Erosão fluvial; 5 – Inundação; 6 – Incêndio em solos com turfa.

Análises	1	2	3	4	5	6
Convergência de fluxo em superfície, fluxos preferenciais, zonas de fraqueza na rocha abaixo do solo, crostas, fluxos de tronco. Teor de argila, textura, química do solo, matéria orgânica, agregados pedológicos, índice S (curva de retenção da água no solo).	x					
Descontinuidades estruturais em subsuperfície, descontinuidades hidráulicas bruscas e contínuas em subsuperfície, remoção de argilas e silte fino de áreas preferenciais (pipes), fluxos preferenciais, zonas de fraqueza na rocha abaixo do solo, micromorfologia do solo.		x				
Descontinuidades estruturais em subsuperfície, descontinuidades hidráulicas em subsuperfície, curva de retenção da água no solo, micromorfologia do solo, teor de argila, textura, mineralogia da fração argila, coesão e atrito associados a inclinação da vertente.			x		x	
Estrutura dos solos, adensamento e compactação do solo, cimentação de horizonte subsuperficial, micromorfologia do solo.				x	x	
Estrutura do solo, química do solo, mineralogia, micromorfologia do solo, análise das frações húmicas do solo, carbono, nível piezométrico.						x
Magnitude-frequência (chuva diária e limiares de processos).			x		x	x
Registros de acumulados de chuva e da tipologia dos movimentos de massa, solos e estruturas de rocha.			x			
Magnitude-frequência (incisão e número/km ²).	x					
Magnitude-frequência de vazão.				x		
Magnitude-frequência de períodos de estiagem.						x

Organizado pelos autores.

Estudo sobre processos pedogenéticos e características morfológicas, físicas e mineralógicas desenvolvidos por Gimenes *et al.* (2019) mostrou um dos condicionantes estruturais do solo que influencia a elevação do nível piezométrico, evidenciando a importância de se conhecer o solo para avaliar ambientes úmidos, frágeis e submetidos a riscos de inundação em cultivos agrícolas, podendo ser também aplicado em áreas de risco urbanizadas.

Útil aos estudos do funcionamento dos solos, outra análise refere-se à magnitude e frequência (WOLMAN; MILLER, 1960; AHNERT, 1987; GIMENES, 2000; COLANGELO, 2005; DE PLOEY; KIRKBY; AHNERT, 1991), aplicada a estimativa de alagamentos, cheias e inundações, estiagem, vazão de rio e movimentos de massa. Os dados considerados tem sido, para cada caso, geralmente diário ou mensal.

A análise de eventos extremos de vazão corresponde a um dos níveis de entendimento da dinâmica do ambiente, adotada em estudos de erosão fluvial em solos de margem de rio e erosão/deposição em barragens de terra e áreas adjacentes. Complementar a essa, a análise de magnitude e frequência demonstra a vazão mais efetiva, ou seja, aquela que possui a melhor relação entre magnitude e frequência.

Em estudo aplicado às inundações na Planície Deltaica do Rio Doce, Coelho *et al.* (2018) estimaram que a cada um, dez e cem anos, respectivamente, ocorre pelo menos uma vez uma vazão máxima média mensal de 3.621,1 m³/s (Y), de 5.175,8 m³/s (Y + A) e de 6.730,5 m³/s (Y + 2A), em que as de melhor relação e maior período úmido estiveram associadas principalmente a Zona de Convergência do Atlântico Sul. A vazão dominante foi de 5.990 m³/s, representando aquela de maior atuação em uma determinada erosão fluvial e deposição de sedimento. A vazão de melhor representação na dinâmica geomorfológica foi a do período de 1999 a 2013 (COELHO *et al.*, 2018).

A análise de magnitude e frequência também foi aplicada em estudo de processos geomorfológicos (*runnof* e movimentos de massa) por Fileti, Gimenes e Goulart (2019), associando-os a chuvas diárias e Latossolos com interferências antrópicas em Venda Nova do Imigrante no Espírito Santo, no registro de 1976 a 2013, com chuvas máximas que chegaram a 155 mm, IMF (72,35; 40,02), enquanto o evento dominante foi de 17 mm nesse período.

Como referências a serem adotadas nas pesquisas, De Ploey (1981) discute os efeitos da vegetação, das coberturas pedregosas, da hidrologia de vertente e do ângulo de inclinação da vertente sobre os movimentos de massa e sobre o escoamento superficial difuso e aponta os limiares de processos, baseados em experimentos em modelos reduzidos, notificando valores limites a partir dos quais determinado processo pôde ser deflagrado. Segundo o autor, é preciso uma discussão mais refinada da situação em diferentes partes da vertente.

Alguns estudos integram a geomorfologia e a pedologia. Numa pesquisa conduzida por Barreto, Gimenes e Goulart (2019) com o objetivo de estudar os solos de Santa Tereza (ES), descontinuidades hidráulicas foram analisadas em Latossolo, por meio de aferição da estrutura pedológica, textura, granulometria, densidade do solo, condutividade hidráulica saturada e curva de retenção da água do solo, apontando dois intervalos no perfil pedológico e recomendando profundidades limites de corte da vertente.

Oliveira (2011) exibiu os parâmetros do solo a serem analisados para diferentes fins de aplicação, como os relacionados à textura do solo e outras características físicas, e limitações para determinados usos, a exemplo de áreas de lazer e de aterros sanitários para resíduos sólidos, como prevenção de riscos de erosão eólica e contaminação das águas.

Brady e Weil (1996) associaram a textura do solo e a atividade da argila (alta e baixa) a algumas características importantes para a análise da erosão (escoamento concentrado em fluxos hídricos superficiais, tendência ao fracionamento e transporte) e movimentos de massa (drenagem interna ou fluxos hídricos subsuperficiais). Como método de identificação da intensidade e direções dos fluxos hídricos, além da textura

e da mineralogia da fração argila evidenciada na citação, complementam esse tipo de análise a descrição das formas dos agregados pedológicos e a micromorfologia do solo.

Castro *et al.* (2003) enumeraram as aplicações da micromorfologia, tais como nos estudos da estrutura, compactação, efeitos das práticas agrícolas e irrigação, porosidade, encrostamento superficial, erosão, movimentos de massa, entre outras. Os autores citam que em Latossolos alterados por atividade antrópica as distribuições relativas passaram a porfírica, voltando a enáulica quando a área foi induzida à recuperação mecânica, química e vegetativa.

A micromorfologia aponta processos e relações existentes no interior da cobertura pedológica. Ainda, estima os impactos negativos provenientes do uso da terra e os impactos positivos nas ações regenerativas do ambiente. Neste último, porém, a resiliência não será a mesma em todos os solos, devendo a mesma ser examinada e conferida nas condições que se apresentarem.

Considerações finais

As pesquisas de base e aplicadas, os levantamentos *in situ*, os experimentos em laboratório, simulações de processos em campo, os estudos sobre métodos de laboratório e metodologias de mapeamentos avançam no sentido de produzir mais conhecimento na busca por soluções de questões relevantes à sociedade, contribuindo para a gestão da redução de risco e desastres.

Levantamentos de campo em escala local para caracterização e mapeamento são investimentos custosos aos Estados e municípios e requerem equipes especializadas. O uso dos mapas de classes de solos existentes, embora sejam fundamentais, estão limitados à escala e ao entendimento da legenda. Mesmo assim, muitas informações são extraíveis de forma seletiva no conteúdo dessas legendas, de modo a favorecer a criação de mapas temáticos com diferentes objetivos. Um deles pode ser muito útil na análise de perigo e de risco, quando em uma análise espacial multicritério, ou modelagem utilizando SIG, unido à compreensão da variação nos pesos atribuídos a cada condicionante de interesse conforme o processo específico.

Ainda assim, informações obtidas em campo, coletas de amostras e análises de laboratório, além do que se desenvolve em pesquisa acadêmica, podem ser incluídas nos pareceres e relatórios técnicos de modo a complementar tais produtos. Os levantamentos de solos assumem assim um papel relevante e têm nas metodologias de mapeamento e SIG um grande aliado.

Ressalta-se a necessidade de preservação daqueles sistemas importantes à manutenção da água, seja pela reserva e recarga hídrica seja na prevenção de queimadas e incêndios; de sistemas de manejo no campo e escolha de materiais de superfície nas áreas urbanas que favoreçam a percolação da água nos solos; de programas a médio e longo prazo de retorno das áreas originalmente úmidas. Índices de qualidade do solo para fins de prevenção à erosão são adequados, em áreas agrícolas e urbanas, podendo os mesmos serem incluídos nos planos municipais a exemplo de PDMs e Zoneamentos Agroecológicos.

A organização das demandas por pesquisas requer alguns fatores, dos quais a ampliação da articulação entre pesquisadores e diversos setores (prefeituras, defesas civis, cooperativas, etc.) para o entendimento das necessidades, editais temáticos e execução das pesquisas com a participação representativa e horizontal dos envolvidos, interdisciplinar e interinstitucional.

Nota

4 [A palavra “topofilia” é um neologismo, útil quando pode ser definida em sentido amplo, incluindo todos os laços afetivos dos seres humanos com o meio ambiente

material. Estes diferem profundamente em intensidade, sutileza e modo de expressão]. Yi Fu Tuan - Topofilia [livro eletrônico]: um estudo da percepção, atitudes e valores do meio ambiente; tradução: Livia de Oliveira – Londrina: Eduel, 2015. p. 177.

Referências

- AHNERT, F. An approach to the identification of morphoclimates. In: GARDNER, V. (ed.). **International Geomorphology**, 1987, p. 159-188.
- BARRETO, N.R.; GIMENES, A.C.W.; GOULART, A.C.O. Análise do mecanismo de ruptura da vertente pelas discontinuidades hidráulicas em Latossolo no bairro Vila Nova em Santa Teresa, Espírito Santo, Brasil. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia-MG, v. 20, n. 71, p. 487-503, set. 2019.
- BOCKHEIM, J.G.; GENNADIYEV, A.N. The role of soil-forming process in the definition of taxa in soil taxonomy and the world soil reference base. **Geoderma**, n. 95, p. 53-72, 2000.
- BOCQUIER, G. **Genèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad**. Paris: ORSTOM, 1973, 350 p. (Mémoires, 62).
- BOULET, R. **Toposéquences de sols tropicaux em Haute-Volta**: equilibre et déséquilibre pedobioclimatique. 1974. 272p. (Thèse sci. Strasbourg et Mém: ORSTOM. 85).
- BOULET, R.; CHAUVEL, A.; LUCAS, Y. **Les systemes de transformation en pédologie**: Livre jubilaire du cinquantenaire de l'A.F.E.S., 1984. p. 167-179.
- BOULET, R.; LUCAS, Y.; FRITSCH, E.; PAQUET, H. Geochemical Processes in Tropical Landscapes: Role of the Soil Covers. In: PAQUET, H.; CLAUER, N. (eds.). **Soils and sediments**: mineralogy and geochemistry. Berlin, Germany: Springer, 1997. p. 67-96.
- BRADY, N.C.; WEIL, R.R. **The nature and properties of soil**. 11. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1996. 740p.
- BUOL, S.W.; HOLE, F.D.; MCCracken, R.J.; SOUTHARD, R.J. **Soil genesis and classification**. Ames: Iowa State University Press, 1997. 527 p.
- CARVALHO, M.A. **Retenção de água e outros atributos físicos de agregados de um Latossolo Vermelho-escuro**. 1998. 83 f. Tese (Doutorado em Solos) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1998.
- CASTRO, S.S.; COOPER, M.; SANTOS, M.C.; VIDAL-TORRADO, P. Micromorfologia do solo: bases e aplicações. In: CURI, N.; MARQUES, J.J.; GUILHERME, L.R.G.; LIMA, J.M. de; LOPES, A.S.; ALVAREZ VENEGAS, V.H. (eds.). **Tópicos em ciência do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2003. v.3, p.107-164.
- COELHO, A.L.N.; GOULART; A.C.O.; GIMENES, A.C.W.; CUNHA, L. Análise das inundações na planície deltaica do Rio Doce, Brasil. In: ENCONTRO LUSO-AFRO-AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA E AMBIENTE, 2., 2018, Guimarães, Portugal. **Anais [...]**. Guimarães, Portugal: Universidade do Minho, 2018. p. 653-660.
- COLANGELO, A.C. Sobre os modelos de magnitude-frequência e de estabilidade de vertentes. **Revista do Departamento de Geografia**, Universidade de São Paulo, n. 16, p. 11-23, 2005.
- DE PLOEY, J. The ambivalent effects of some factors of erosion. **Mém.Inst. Géol. Univ. Louvain**, t. 31, p. 171-181, 1981.
- DE PLOEY, J.; KIRKBY, M.J.; AHNERT, F. Hillslope erosion by rainstorms: A magnitude-frequency analysis. **Earth Surface Processes and Landforms**, v. 16, p. 399-409, 1991.
- DUMOUCHEL P.; DUPUY J.P. (eds). **Colloque de Cerisy**: L'autoorganisation de la physique au politique. s.l.: Editions du Seuil, 1983.
- EMBRAPA. **Antropossolos**: proposta de ordem (1ª Aproximação). Colombo, PR: Embrapa Florestas, 2004. 49 p.
- EMBRAPA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018. 351 p.

FILETI, R.B.; GIMENES, A.C.W.; GOULART, A.C.O. Estimativa de magnitude-frequência de chuvas diárias associadas a runoff e a processos geomórficos em Latossolos Antropizados (São João de Viçosa, Venda Nova do Imigrante, ES). **Revista Científica Intelletto**, Venda Nova do Imigrante, ES, Brasil, v. 4, n. 1, p. 99-109, 2019.

GIMENES, A.C.W. Análise semilogarítmica de magnitude-frequência na identificação do evento pluviométrico diário dominante e processo geomórfico associado. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA, 8., 2000, Santiago do Chile. **Anais [...]**. Santiago do Chile: Universidad de Chile, 2000, p 411-421.

GIMENES, A. C. W. **Pedogeomorfologia de depressão nos tabuleiros costeiros do Norte do Espírito Santo**. 2014. Tese (Doutorado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa (UFV, MG). Viçosa, Brasil, 2014.

GIMENES, A.C.W.; SCHAEFER, C.E.G.R.; KER, J.C.; OLIVEIRA, F.S.; GOULART, A.C.O.; COSTA, T.B. Inundações associadas a Espodosolos e evolução da rede de drenagem em Tabuleiro Costeiro no nordeste do Estado do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE REDUÇÃO DE RISCOS E DESASTRES, 3., 2019, Belém. **Anais [...]**. Belém: UFPA, 2019.

JOHNSON, D.L.; WATSON-STEGNER, D. Proisotropic and proanisotropic process of pedoturbation. **Soil Science**, v. 143, n. 4, p. 278-292, 1987.

KÄMPF, N., CURTI, N. Conceito de solo e sua evolução histórica. In: KER, J.C.; CURTI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. (eds). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012a. p. 1-20.

KÄMPF, N., CURTI, N. Formação e evolução do solo (pedogênese). In: KER, J.C.; CURTI, N.; SCHAEFER, C.E.G.R.; VIDAL-TORRADO, P. (eds). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2012b. p. 207-302.

LUCAS, Y.; LUIZÃO, F.J.; CHAUVEL, A.; ROUILLER, J.; NAHON, D. The relation between biological activity of the rain Forest and mineral composition of soils. **Science**, v. 260, p. 521-523, apr. 1993.

MIKLÓS, A.A.W. **A dissociação entre homem e natureza: reflexos no desenvolvimento humano**. São Paulo: Antroposófica, 2001.

MIKLÓS, A.A.W. Agricultura biodinâmica, nutrição e desenvolvimento humano: ênfase na digestão do etérico do alimento. **Arte Médica Ampliada**, v. 37, n. 3, jul./set. 2017.

OLIVEIRA, J.B. **Pedologia aplicada**. 4. ed. Piracicaba, SP: FEALQ, 2011. 592 p.

PRIGOGINE, I. **From being to becoming: time and complexity in the physical systems**. Freeman, San Francisco, 1982.

SANTOS, R.D.; SANTOS, H.G.; KER, J.C.; ANJOS, L.H.C.; SHIMIZU, S.H. **Manual de descrição e coleta de solo no campo**. 6. ed. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2015. 102 p.

TUAN, Yi-Fu. **Topofilia: espaço e lugar: a perspectiva da experiência**. Tradução de Livia de Oliveira. Londrina: Eduel, 2015.

VASCONCELLOS, A.R.; RODRIGUES, C.G.; LUZZI, R. Complexidade, auto-organização e informação em sistemas dinâmicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 37, n. 2, p. 2314, 2015.

WOLMAN, M.G.; MILLER, J.P. Magnitude and frequency of forces in geomorphic processes. **Journal of Geology**, n. 68, p. 54-74, 1960.