

Artigo de Revisão

A Geopedologia como abordagem metodológica para o levantamento de solos: uma breve discussão

Geopedology as a methodological approach to soil survey: a brief discussion

Diego Fernandes Terra Machado ¹, Selma Simões de Castro ² e Francisco Sergio Bernardes Ladeira ³

¹ Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas - SP, Brasil. ftm.diego@yahoo.com.br.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0281-8802>

² Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas - SP, Brasil. selma.castro@uol.com.br.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5401-5852>

³ Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências, Campinas - SP, Brasil. ladeira@unicamp.br.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9990-2332>

Recebido: 20/07/2021; Aceito: 15/03/2022; Publicado: 01/10/2022

Resumo: A cartografia de solos está alicerçada em dois paradigmas fundamentais da Pedologia, o de que o solo resulta de cinco fatores de formação e o de que há uma estreita relação entre o solo e a paisagem onde se situa. Nos dois casos o relevo é um dos fatores essenciais para compreender a distribuição espacial dos solos na paisagem. Ao longo do tempo, o estudo das relações entre solo e relevo receberam diversos nomes, dentre eles Geopedologia, contração de Geomorfopedologia, definida como o estudo dos solos através de suas relações com o relevo sob diferentes aspectos, seja conceitual, metodológico ou operacional e incluindo as escalas. Por vezes, o termo geopedologia é tratado na literatura como sinônimo de relação solo-paisagem, de relação solo-relevo, ou simplesmente correlacionada à cartografia de solos, sem grandes distinções conceituais. Esta revisão trata dos eventos que levaram à consolidação dos estudos da relação solo-relevo, até a legitimação da Geopedologia como método, enfatizando a contribuição da Geomorfologia para a cartografia pedológica.

Palavras-chave: Geopedologia; Pedologia; Pedogeomorfologia; Solo-Relevo.

Abstract: Soil mapping is based on two fundamental paradigms, the five factors of soil formation and the soil-landscape relationship. In both cases, understanding the relief conditions as which soils development are related is fundamental for the comprehension of the soil's distribution over the landscape. The study of the relationship between soil and relief has received several names, including Geopedology, contraction of Geomorphopedology, which can be defined as the study of soils through their relationship with relief, under different aspects, the conceptual, the methodological and the operational and including the scales. At times, the term geopedology is applied in the literature as a synonym of soil-landscape relationship, soil-relief relationship, or simply correlated with soil cartography, without major conceptual distinctions. This review discusses the relevant events that led to the consolidation of studies on the soil-relief relationship, until the legitimation of Geopedology as a method, emphasizing the contribution of Geomorphology to pedological cartography.

Keywords: Geopedology; Pedology; Geomorphology; soil-relief.

1. Introdução

A Cartografia dos solos tem relação com a Geografia dos Solos, na medida em que objetiva compreender a ocorrência e os padrões de sua distribuição espacial, especialmente na paisagem, considerando seus fatores de formação, seus atributos e sua localização, associados à escala da representação.

A origem da Geografia dos Solos está atrelada às escolas russas de Paisagem e de Pedologia, com Vasily Vasilevich Dokuchaev, ainda no século XIX. Consolidou-se, na aurora do século 20, como uma disciplina científica com as contribuições de Konstantin Glinka, discípulo de Dokuchaev, principalmente na Europa, e de Curtis F. Marbut, discípulo de William Morris Davis, nos EUA. Ambos, Glinka e Marbut, exerceram grande influência sobre como se interpreta a distribuição dos solos, sobretudo nas paisagens (MILLER et al., 2019; RODRIGO-COMINO et al., 2018).

Desde então, os solos passaram a ser reconhecidos como corpos naturais, cujas características próprias os distinguem das rochas, tais como as macromorfológicas ou morfologia dos solos expostas nos horizontes superpostos nos perfis de solo e as micromorfológicas, correspondentes às microestruturas visíveis sob microscópio óptico petrográfico, em lâminas delgadas. Progressivamente, na medida em que se constatava a grande variabilidade espacial de solos e de suas propriedades e atributos em função de variações regionais e locais, entre outros aspectos que integram as paisagens, o relevo e o material de origem foram fatores de formação cada vez mais valorizados, desde o início da segunda metade do século XX, principalmente na década de 70 (QUEIROZ NETO, 2010; NAKASHIMA et al, 2017. RUBIRA et al, 2019; CASTRO, 2021;). Nesse sentido, cabe destacar que os estudos da sucessão lateral de solos nas vertentes, denominadas de catenas por seu autor (MILNE 1935, 1936), inspiraram fortemente uma nova tendência de estudo dos solos nas paisagens nessas escalas (QUEIROZ NETO, 2011).

Paralelamente, em termos sociais, culturais e econômicos, os solos também passaram a ser compreendidos como um recurso finito, o que levou ao entendimento de que suas características impunham certas limitações ou certos potenciais para seus diferentes usos. Nesse aspecto, suas características passaram a ser traduzidas na forma de mapeamento de seus atributos ou propriedades em sua respectiva distribuição espacial, informações essas que, com passar do tempo, se tornaram muito relevantes para o planejamento do uso, ocupação e manejo das terras.

Na América Latina, em especial, os levantamentos sistemáticos de solos tiveram início por volta da década de 1950. Neste período, com base no método de caminhamento livre, os mapas guardavam uma relação muito estreita de dependência com o conhecimento tácito dos pesquisadores e, sobretudo, com a Geologia. Porém, a partir dos anos de 1960, o uso das fotografias aéreas passou a se tornar importante, como também os métodos de interpretação fisiográfica, cujos indicadores contribuíam para mapear a distribuição das classes de solos nas paisagens se consagraram (BENNEMA; GELENS, 1969). Tanto os métodos de análise fisiográfica quanto os estudos que se seguiram, principalmente na década de 1970, em escalas cartográficas médias e grandes, sobre a distribuição espacial dos atributos dos solos, sua gênese e sua sucessão lateral ao longo das vertentes, estreitaram os laços entre Pedologia e Geomorfologia, pavimentando a continuação do caminho para o desenvolvimento da *Geopedologia*, iniciada nos anos 50, e de tantas outras vertentes que se dedicaram aos estudos sobre solo-relevo (BREVIK et al., 2016; RODRIGO-COMINO et al., 2018; CASTRO, 2021).

Geopedologia, contração de Geomorfoedologia, corresponde ao estudo dos solos por meio de suas relações com o relevo. Enfatiza a contribuição da Geomorfologia nos estudos pedológicos e pode ser compreendida sob diferentes aspectos: conceitual - a partir da identificação das relações entre seus objetos de estudo (solo-relevo); metodológico – pelas modalidades utilizadas para analisar os resultados destas relações e seus padrões de ocorrência e distribuição; e operacional – sobretudo para o levantamento de solos, representado por uma sequência lógica e sistematizada de atividades e procedimentos (ZINCK et al., 2016).

A Geopedologia, como abordagem sistematizada para o levantamento de solos, surgiu na Itália com Principi (1953), apoiada em grande parte no material de origem (geologia) e atributos do relevo (geomorfologia) para delimitação dos tipos de solos. Posteriormente, evoluiu na França com Pouquet (1966), cujo principal mérito foi de sistematizar os passos do levantamento e, bem mais tarde na Venezuela, com Zink (1988), atendendo à demanda dos órgãos gestores visando a integração de informações geomorfológicas aos levantamentos de solos. Os procedimentos propostos por Zink (1988) foram aplicados também na Colômbia e Equador (MÉNDEZ; DUALIBY, 2017; VÁSQUEZ, 2010) para o inventário oficial de solos em diferentes escalas e níveis de intensidade. A opção pela Geopedologia nesses países deu-se em grande parte por se tratar de uma ferramenta que permite acelerar as atividades de levantamento e mapeamento de solos através dos procedimentos de segmentação geomórfica da paisagem por meio da análise e interpretação de imagens, como fotos aéreas, ortofotos, imagens de radar e de satélites (ZINCK et al., 2016).

No Brasil, o enfoque geopedológico é reconhecido em termos conceituais e metodológicos, por vezes até mesmo considerado sinônimo de diversos outros termos, tais como relação solo-relevo (COELHO et al., 2010;

OLIVEIRA; SANTOS; CALEGARI, 2020); relação solo-paisagem (RUHE, 1960; LEPSCH; BUOL; DANIELS, 1977; CAMPOS et al., 2007; ARRUDA; DEMATTÊ; CHAGAS, 2013); relação solo-unidades geomórficas (MOTTA et al., 2002; CAMPOS et al., 2012; SILVA et al., 2016); geomorfopedologia (LOPES; CARRARO, 2005; THOMAZ, 2008; VILLELA; ROSS; MANFREDINI, 2015); pedogeomorfologia (FIGUEIREDO et al., 2004; CAMPOS, 2009; VASCONCELOS et al., 2013). Contudo, há diferenças nas abordagens e nos procedimentos de cada uma e, não obstante, pouca atenção foi dada ao mapeamento geopedológico em si mesmo e em sua proposta como método hierárquico para interpretação da paisagem, devido favorecimento do mapeamento pedológico convencional.

Este artigo objetiva apresentar uma revisão sobre Geopedologia, com ênfase na sua contribuição para consolidar os estudos da relação solo-relevo, bem como para sua aplicação ao levantamento e estudos de solos, com base na revisão da literatura.

2. A relação solo-relevo e a relação pedologia e geomorfologia

2.1. Uma breve retomada histórica inicial

As observações sobre as diferenças entre as características dos solos e sua distribuição geográfica são tão antigas quanto os primeiros agrupamentos humanos sedentários, pois que paralelamente ao desenvolvimento da agricultura, surgiu a necessidade de compreender melhor os solos e racionalizar o seu uso (LEPSCH, 2011). Na primeira metade do século XIX grande parte dos esforços nessa direção se concentrou nas investigações sobre a química, matéria orgânica e a mineralogia dos solos, induzidas pelo aumento populacional e a consequente demanda crescente por alimentos (RODRIGO-COMINO et al., 2018). E foi principalmente na segunda metade do século XIX que os estudos se voltaram à descrição dos processos de intemperismo nos solos (RAMMAN 1983) e das influências de parâmetros climáticos sobre a pedogênese (HILGARD, 1907), com o desenvolvimento da escola russa de Pedologia, liderada por Dokuchaev (1846-1903). Nessa ocasião os solos passaram a ser entendidos como corpos naturais próprios, os corpos de solo, independentes, ideia que marcou a Pedologia por longo tempo, e ainda marca, uma vez que levou à mudança de paradigma reinante até então, o de que o solo era uma entidade estática que compunha parte do substrato geológico, estudado exclusivamente por interesse agrícola, ramo da ciência geológica alcunhada como Agrogeologia (LEPSCH, 2011; RODRIGO-COMINO et al., 2018).

Nessa nova concepção, os solos passaram a ser considerados como o produto da ação de diferentes processos atuantes ao longo do tempo, condicionados por fatores ambientais, que passaram a ser denominados de fatores de formação dos solos, a saber: substrato, clima, relevo, organismos e tempo. Assumia-se também que diferentes combinações destes fatores, resultariam em diferentes tipos de solos, cujas características particulares de suas propriedades e arranjo de seus horizontes permitiriam sua delimitação na superfície emersa da crosta terrestre. Nessa oportunidade a ciência voltada ao estudo dos solos consagrou-se como Pedologia, termo adotado por Dokuchaev, embora não tenha sido criado por ele e sim pouco antes por Fallou em 1862 (ESPINDOLA, 2014).

Deve-se lembrar que a escola russa de Pedologia contribuiu notavelmente para os estudos sobre gênese e morfologia dos solos com base na observação dos horizontes e respectivos arranjos verticais expostos no perfil de solo, seus fatores de formação, e criou, também, as bases da Geografia dos Solos, entendida à época como o estudo da distribuição espacial dos solos na superfície terrestre, representada cartograficamente como mapas de solos.

Com esse espírito e influenciado por Dokuchaev, Konstantin D. Glinka (1867-1927) defendeu a utilização dos horizontes dos solos como componentes-chave para a caracterização e classificação de solos e foi também o responsável por introduzir os princípios da escola russa de Pedologia na Europa e nos E.U.A., neste através de Curtis F. Marbut, 1863–1935 (HOLLIDAY, 2006). Seguindo a linha científica de Glinka e influenciado pela teoria de Willian Morris Davis sobre o ciclo geográfico de evolução do relevo, Marbut passou a aplicá-lo à evolução do relevo e solos associados, com vistas a compreender os processos pedogenéticos e suas relações com as paisagens onde se encontravam, desencadeando o estreitamento dos laços entre Geomorfologia e Pedologia. Assim, os programas de levantamento de solos nos E.U.A, tiveram em Marbut (1927), apoiado por Kellog (1937), as bases para a primeira edição do *Soil Survey Manual* em 1937 e o primeiro mapa de solos desse país em 1938 (RODRIGO-COMINO et al., 2018).

Ainda que a compreensão sobre os fatores de formação e dos processos envolvidos na gênese dos solos tivesse avançado bastante até a década de 1930, foi Hans Jenny (1899-1992) quem integrou muitos dos princípios básicos da Pedologia em seu livro “Fatores de Formação dos Solos” (Jenny, 1941), que completa agora 80 anos (AMUNDSON, 2021), ao valorizar enfaticamente e equacionar os cinco fatores de formação dos solos: material de

origem, relevo, clima, organismos e tempo (SOIL SURVEY STAFF, 2017). O modelo de Jenny (1941) sobre a gênese de solo como produto da ação integrada desses cinco fatores de formação e sua respectiva equação geral, mudaram a forma como os solos eram percebidos e estudados. E ainda há que se lembrar que uma atenção especial passou a ser dada para os estudos sobre a sucessão lateral de solos nas unidades de relevo, denominados de topossequência, entre outras denominações associadas ao relevo como fator predominante dentre os cinco (JENNY, 1946; BREVIK; FENTON; HOMBURG, 2016), nome inspirado na catena de Milne (1935), com a qual a topossequência se confundiu e ainda se confunde conceitualmente. Entretanto, convém lembrar que foi Jenny (1946), quem equacionou toda uma nomenclatura sobre os diversos tipos de lateralidade da distribuição dos solos nas paisagens, compilando e mesmo criando terminologias, além de topossequência, em que cada uma das respectivas equações se inicia pelo fator predominante de sua formação, por exemplo, cronossequência (relativa a idade), litossequência (relativa ao material de origem), climatossequência (relativa ao clima), entre outras.

No entanto, originalmente a descoberta e a denominação de catena para a lateralidade dos solos nas vertentes coube a Milne (1935), que se dedicou a compreender as relações entre solo e relevo, relacionando o desenvolvimento dos solos e o comportamento de suas propriedades aos aspectos topográficos em sequências estudadas no oeste da África, de início responsabilizando a erosão e sedimentação como as causas de tal lateralidade, ideia essa que ele mesmo reviu mais tarde em função das discussões que causou (MILNE, 1947). Ao propor o conceito de catena a essa lateralidade ele afirmava que as mudanças na paisagem, em especial do relevo (topografia), interferiam no arranjo e distribuição dos solos e que estas mudanças ocorreriam de forma sistemática e repetitiva ao longo das vertentes similares em uma determinada região, marcada por um determinado padrão geomórfico (MILNE, 1947; QUEIROZ NETO, 2011; CAMPOS, 2012).

Por outro lado, e mais recentemente, além do fator relevo e de acordo com o *Soil Survey Manual* (SOIL SURVEY STAFF, 2017) o fator *tempo* passou a assumir uma importância maior entre os fatores de formação. Foi assim que os estudos geomorfológicos ganharam destaque na determinação do tempo de exposição dos materiais aos processos de formação. Nesse aspecto, Zinck et al. (2016) destacaram a relação genética das geoformas (formas do relevo) a três dos fatores de formação reconhecidos por Jenny (1941): a topografia (relevo), a natureza do material de origem (geralmente o substrato geológico) e a idade relativa do solo-paisagem (morfoestratigrafia).

Contudo, apesar das mútuas e já reconhecidas relações entre solo e relevo, a Geomorfologia e a Pedologia, ao menos desde o início do século passado, se desenvolveram como disciplinas autônomas e sem interlocuções muito produtivas, pelo menos até os anos 1960-70 (SALDAÑA, 2016; ESPINDOLA, 2010), quando isso começa a mudar. Para Queiroz Neto (2011, p.16) “A pedologia sempre viu no relevo um fator importante para a compreensão dos solos; o mesmo não se pode dizer da geomorfologia, que via nos solos um papel de coadjuvante”. Isto, mesmo nos Estados Unidos, onde na década de 1970 a Geomorfologia dos Solos (*Soil Geomorphology*), proposta por Daniels, Gamble e Cady (1971) e aperfeiçoada por Conacher e Dalrymple (1977), era oficialmente institucionalizada através de programas governamentais do *Soil Survey Program* (EFFLAND; EFFLAND, 1992), e sua consolidação como subárea das geociências se deu apenas nos anos de 1970 (HOLLIDAY, 2006).

2.2. Os meandros da relação entre Solo e Relevo a partir de 1970

A partir da década de 1970, os estudos das relações entre o modelado do relevo na paisagem e os solos passam a ser diversificados na literatura. O modelado entendido como o conjunto de geoformas repetitivas (ou padrão geomórfico) em uma dada extensão geográfica e os solos associados, grosso modo respondia, ora a questões acadêmicas sobre a gênese e formação de solos, ora aplicados a fins técnicos, como nos levantamentos e cartografia de solos.

Cabe destacar que Zinck et al. (2016) apresentaram uma cronologia dos estudos que se enquadraram na denominação de *Soil Geomorphology* (Geomorfologia do Solo ou simplesmente Solo e Relevo), destacando a diversidade de concepções expressas por várias terminologias (*soil geomorphology; soils and geomorphology; pedology and geomorphology; morphopedology; geopedology; e pedogeomorphology*) e consequentes abordagens (Geológica; Geomorfológica; Pedológica; Integradas). Segundo esses autores, tal diversificação terminológica se deve ao enfoque das pesquisas derivado da formação de base dos pesquisadores. Ademais, cabe também ao fato do solo ser um elo produzido pela integração das diferentes esferas terrestres (biosfera, litosfera, hidrosfera e atmosfera), o que lhe confere a denominação de Pedosfera (LAL, 2010), portanto, correspondente a um produto de interface dos fatores de formação dos solos e, por isso, acabar respondendo por processos de diferentes naturezas (LEPSH, 2011).

Alguns temas se destacaram desde então, com base no exposto por alguns autores (SANTOS, 2000; QUEIROZ NETO, 2011; CAMPOS, 2012; ZINCK et al., 2016; RODRIGO-COMINO et al., 2018; CASTRO, 2021), que fazem um resgate histórico sobre como as relações solo-relevo foram tratadas ao longo do tempo:

- A autoctonia ou aloctonia dos materiais de origem dos solos. Nesse aspecto, ressalta-se a evidente relação com a geomorfologia em função da interpretação da evolução das vertentes e depósitos correlativos (QUEIROZ NETO 2011);
- A relação dos solos com a dinâmica hídrica superficial e subsuperficial e o balanço de massa nas vertentes, bem como a influência destes nas características e propriedades dos solos. Nesse aspecto valoriza-se as rotas de fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais (GERRARD, 1981 apud VIDAL-TORRADO; LEPSCH; CASTRO, 2005);
- A relação entre solos e as superfícies geomórficas como indicadores de variabilidade espacial da distribuição dos solos (*Soil Geomorphology*). Nesse aspecto, valorizando-se as rupturas de declive como indicadoras da passagem de uma superfície geomórfica a outra como limites entre corpos de solo (CONACHER; DALRYMPLE, 1977);

A relação solo-relevo para a compreensão da evolução das paisagens (*Soil Landscape* ou sua contração *Soilscape*, em português pedopaisagem) (BUOL, HOLE e MCCRAKEN, 1973). Nesse aspecto certos setores da paisagem caracterizados por um tipo de solo, sua topografia externa (pedoforma) e relações com os seus demais componentes (RUHE, 1956, 1960, 1975; DALRYMPLE, BLONG, CONACHER, 1968; DANIELS, GAMBLE, CADY, 1971; CONACHER; DALRYMPLE, 1977);

- A variação das propriedades e características dos solos em função do gradiente topográfico (MILNE, 1935); nesse caso, resultante de fluxos hídricos capazes de remover, transportar e acumular componentes em suspensão e, ou solução, de montante para jusante (GREENE, 1947);
- A Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, fortalecendo a ideia de que o solo corresponde a uma cobertura, ou seja, a um *continuum*, cuja morfologia interna (estruturada em horizontes) se manifesta em níveis de organização embutidos uns nos outros, da paisagem ao microscópio, e não reconhece corpos de solo como indivíduos (BOULET; HUMBEL; LUCAS, 1982; RUELLAN; DOSSO, 1993);
- Os Sistemas pedológicos como a sucessão de solos nas vertentes, podendo ser de transformação vertical da rocha em solo ou mesmo de transformação lateral de solos induzida pela topografia e fluxos físico-hídricos relacionados, fazendo aparecer ou desaparecer horizontes, sem mudanças no material de origem (RUELLAN, 2005).

Há um entendimento bem estabelecido sobre as relações básicas entre geomorfologia e pedologia que se resumem no princípio de que os processos geomórficos e as formas de relevo resultantes contribuem para a formação e distribuição do solo, enquanto, em contrapartida, o desenvolvimento e as propriedades do solo influenciam a evolução da paisagem geomórfica (ZINCK et al., 2016). Estes autores ressaltam, ainda e fortemente, que o relevo e os solos estão intimamente relacionados, mas não como uma mera superposição, pois que há relações dinâmicas entre os dois, um influenciando o comportamento genético, morfológico e funcional do outro, mas em coevolução. Nesse espírito, Jungerius (1985) enfatiza que o compartilhamento dos fatores de formação entre solo e relevo resultam em uma relação recíproca e de via dupla, onde as alterações em um influenciam o comportamento do outro. Para Queiroz Neto (2011) o relevo tem papel de destaque na compreensão dos solos quanto à sua formação e evolução. Tão importante que Buol, Hole e McCracken (1973) propuseram a denominação *Soil Landscape* (ou sua contração *Soilscape*), Solo-Paisagem, conceito ampliado por Hole (1978) e retomado por Hudson (1992), como um dos paradigmas fundantes para os levantamentos de solos, ao lado dos cinco fatores de formação e tipos de levantamentos (JENNY, 1941, 1946).

Para Zinck et al. (2016), há duas linhas principais que contribuíram para o desenvolvimento dos estudos das relações entre pedologia e geomorfologia, a “acadêmica e a aplicada”. A vertente acadêmica busca as causas, enquanto a aplicada diz respeito aos levantamentos de solos que usam indicadores geomorfológicos como subsídio para a cartografia pedológica, principalmente para delimitar classes de solos de uma dada área. Sobre a “aplicada” e a contribuição dos levantamentos de solos para o estreitamento dessas relações, Zinck et al. (2016 p.14) afirmam:

“O levantamento de solos tem sido o laboratório de campo onde as modalidades de aplicação da geomorfologia à cartografia de solos foram formuladas e testadas. A estrutura da paisagem geomórfica serviu de pano de fundo para o mapeamento do solo, enquanto a dinâmica do ambiente geomórfico ajudou a explicar a formação do solo, com retroalimentação da informação pedológica ao conhecimento geomórfico.”

Apesar dessa divisão proposta por Zinck et al. (2016), as bases científicas de ambas permaneceram. A diferença principal entre as duas se encontra nas escalas e tipos de abordagens. Enquanto a acadêmica é mais flexível quanto à experimentação e escalas de trabalho, a aplicada tende a ser mais pragmática, isto é, a responder a questões específicas relativas ao uso e ocupação dos solos, mediante estabelecimento de protocolos e normatizações que respondem a exigências externas ao meio científico/acadêmico, principalmente agrônômicas e ambientais. Naturalmente, existem interseções entre ambas e as contribuições são, portanto, recíprocas.

2.3. As duas linhas de abordagem para os levantamentos de solos

Historicamente, o levantamento de solos apresenta um caráter multidisciplinar. Apesar das bases científicas estarem atreladas à Ciência do Solo, sobretudo à Pedologia, dada a natureza multifatorial da formação dos solos e conseqüentemente sua variabilidade na superfície terrestre, o mapeamento de solos faz uso de diversas áreas do conhecimento (Geomorfologia; Biologia; Geografia Física; Biogeografia; Geologia; Climatologia; Geoestatística, dentre outras). A Geomorfologia se destaca principalmente devido ao modo como ela se insere no fluxo de trabalho da cartografia de solos com base nos indicadores topográficos do relevo.

De acordo com Zinck et al. (2016), na utilização dos conhecimentos geomorfológicos aplicados ao levantamento e cartografia de solos, duas principais abordagens têm sido adotadas. A primeira, defendida por alguns pesquisadores, como Tricart (1965) e Ruhe (1975), é o “procedimento de antecedência” (*Procedure of antecedence*), no qual as diferentes bases informacionais devem ser concebidas *a priori* e de modo independente, ou seja, primeiramente um grupo de especialistas faz o levantamento geomorfológico, que servirá de base para o segundo grupo de especialistas, que realizará o levantamento pedológico. A segunda abordagem, o “modo paralelo” (*parallel mode*), se daria pela atuação de grupos mistos e na utilização de interpretação de fotografias aéreas (GOOSEN, 1968). Nos E.U.A. os levantamentos de solos já vinham sendo realizados desde a primeira metade do século XX, com base na aplicação sistemática do “procedimento de antecedência” (EFFLAND; EFFLAND, 1992; ZINCK et al., 2016). Na América do Sul, parte dos levantamentos de solos sistemáticos para fins agrícolas e de planejamento regional, cobrindo os territórios nacionais, também tiveram início dessa forma, nas décadas de 1950 e 1960 (ZINCK, 2012; CARVALHO; NUNES; ANTUNES, 2013; MÉNDEZ; DUALIBY, 2017; FLACH; CORRÊA, 2017).

Em alguns países latinos, como Venezuela e Colômbia, os levantamentos foram conduzidos sob algumas abordagens integradas, com a participação de equipes multidisciplinares (entre seus membros os geomorfólogos e os pedólogos) (MÉNDEZ; DUALIBY, 2017). Os levantamentos foram baseados no paradigma da “paisagem geopedológica” (*geopedologic landscape*) que, de acordo com Zinck et al (2016), corresponde a um paradigma que contribuiu com as bases metodológicas para os levantamentos de solos na Venezuela, ao comentarem que “a integração entre Geomorfologia e Pedologia ocorreu ao longo de todo o processo de levantamento, desde a fotointerpretação inicial até a elaboração do mapa final” (ZINCK et al, 2016 p.15). Por sua vez, no Brasil, houve grande influência dos procedimentos adotados pelos norte-americanos, inclusive com utilização de fotografias aéreas (Fotopedologia), na escala de 1:50.000, disponibilizadas pela Força Aérea dos Estados Unidos – USAF, através de um acordo cartográfico EUA x Brasil firmado na década de 1960, por permitirem uma visão 3D da área em termos sobretudo do relevo, facilitando o reconhecimento da variabilidade de solos associados (ARCHELA, 2001).

2.4. O início dos levantamentos de solos no Brasil

Quanto ao Brasil, é necessário estender um pouco mais os comentários históricos para demonstrar como se trabalhou a relação entre solo e relevo. A Pedologia só surge verdadeiramente como ciência no País nos anos 40 do século XX (SCHAEFER; MARQUES; CAMPOS, 1997). O Brasil precisava realizar o inventário de seus solos, demanda clara da economia basicamente agrícola que crescia e praticamente coincidindo com a industrialização

do País (CARVALLHO et al, 2013). Em 1935, no Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), sob a direção de José Setzer, iniciava-se, na Seção de Agrogeologia, o levantamento de solos no País (LARACH, 1997), com o “Esboço Agrogeológico do Estado de São Paulo”, o primeiro mapa de solos elaborado no Brasil, associando os grandes tipos de solos à geologia, como era a tendência internacional na época. Mas, foi em 1947, com a criação da Comissão de Solos do Serviço Nacional de Pesquisas Agrônomicas (SNPA), do Ministério da Agricultura, que se institucionalizou o levantamento de solos em nível nacional, um marco decisivo na história da cartografia de solos no País (CARVALHO; NUNES; ANTUNES, 2013). Foram elaborados os mapas de solos do estado do Rio de Janeiro e Distrito Federal em 1958 e, novamente, de São Paulo em 1960 (CRIVELENTI, 2009; ESPÍNDOLA, 2010; FLACH; CORREA, 2017). A Geopedologia acabara de surgir na Itália, mas essa denominação não era usada no Brasil.

Some-se à criação do SNPA, em 1947, também a fundação da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, a SBCS (www.sbcs.org.br), para divulgar o conhecimento de solos no País por meio de eventos nacionais e regionais, com destaque para os Congressos Brasileiros de Ciência do Solo e as reuniões brasileiras temáticas, como a RCC - Reunião Brasileira de Classificação e Correlação de Solos que muito contribuem para discussão sobre a classificação taxonômica de solos e sua distribuição nas diversas paisagens brasileiras. A difusão dos conhecimentos ainda conta com a Revista Brasileira de Ciência do Solo e o Boletim Informativo, que em suas trajetórias mostram as tendências científicas da Ciência do Solo.

O Brasil, contudo, com dimensões continentais, ainda demandava urgência no conhecimento de seus solos e para tanto criou instituições e programas nacionais nos anos 70 do século XX. Assim, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, a EMBRAPA, é criada em 1973, com seu Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS), e o Projeto RADAM, em 1970 e logo depois o RADAMBRASIL em 1975 (BRASIL, 1973-1987). Coube à EMBRAPA a responsabilidade pela coordenação nacional dos levantamentos de solos começando por produzir os mapas de reconhecimento de solos de nove estados brasileiros, além dos mapas exploratórios dos solos das regiões Norte, Meio-Norte e Centro Oeste, atuando em rede com o SNPA. Coube ao projeto RADAM (Projeto Radar da Amazônia), o levantamento de recursos naturais da Amazônia, em escala 1: 1.000.000, incluindo os mapas exploratórios de solos. Coube ao RADAMBRASIL a execução dos mesmos mapas do RADAM para cobrir todo o restante do País. Estes dois últimos utilizaram técnicas de fotointerpretação de imagens de radar de visada lateral do sensor SLAR (*Side Looking Airborne Radar*) acoplado a um avião e utilizava os atributos do relevo e das fitofisionomias como principais critérios para delimitar as classes de solos (LEPSCH, 2011; CARVALHO; NUNES; ANTUNES, 2013). Esses projetos se estenderam até 1985, sendo anteriores ao primeiro Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, cujo esboço data de 1987, mas o SiBCS é bem posterior (EMBRAPA 1999), devido intensa discussão que se seguiu ao referido esboço com o qual, na verdade, muito contribuiu.

A classificação de solos adotada nesses mapas, a exemplo do mapa dos solos paulistas de 1960, considerava três categorias gerais mais elevadas na classificação dos solos, resumidamente em: I - *Solos bem desenvolvidos*, sendo Solos com B textural e Solos com B latossólico; II - *Solos moderadamente desenvolvidos*, sendo os Solos Hidromórficos; III - *Solos pouco desenvolvidos*, sendo os Litossolos. A chave de interpretação pressupunha evolução pedogenética crescente: Rocha → Litossolo → Solo com B textural → Solo com B latossólico e o relevo associado a essas categorias pressupunha uma evolução (por dissecação erosiva e desenvolvimento pedogenético) do mais acidentado (Litossolo), passando ao ondulado (solos com Bt, então denominados de Podzólicos e Podzolizados), e deste ao suave ondulado (Litossolos). Nos planos de fundo de vale o desenvolvimento era atrelado também ao ambiente de saturação (solos hidromórficos e aluviais). Tais classes de relevo são adotadas até hoje (EMBRAPA, 1995; 2018). e traduzem, de modo bastante simples, o entendimento da relação entre solo e relevo, mas lançam as bases iniciais para a compreensão das relações morfogênese x pedogênese consideradas nos levantamentos e mapeamentos de solos, já perceptíveis em termos de macroesculturas geomorfológicas (ROSS, 2013).

Todavia, é oportuno lembrar que no final da década de 1950 e início da de 1960 iniciavam-se os levantamentos semidetalhados de solos, onde essas relações tornavam-se mais evidentes. Nessa fase, as fotografias aéreas, em escalas 1: 60.000 ou maiores, em geral produzidas pela *United States Air Force* (USAF), eram de grande utilidade no levantamento de solos, mediante critérios de fotopedologia que permitiam uma imagem 3D da área que ressaltava o relevo, tornando-se um indicador decisivo para reconhecer a distribuição espacial das classes de solos, sobretudo relacionada às declividades e formas do relevo. As fotos aéreas muito contribuíram para aperfeiçoar a acurácia do levantamento e mapeamento dos solos, como hoje permitem os Modelos Digitais de Elevação (MDE) e do Terreno (MDT) e indicadores deles decorrentes, como por exemplo as curvaturas (VALERIANO, 2008). Os atributos do relevo (altitudes, declividades e formas, entre outros) permitiam reconhecer a sucessão de solos, antevendo os

estudos em topossequências que estavam em andamento nas regiões tropicais, sobretudo na África. Com esse espírito de melhorar a acurácia dos mapas, a partir de 1975, a Seção de Pedologia do IAC (ex seção de Agrogeologia) iniciou um programa sistemático de levantamento semidetalhado dos solos do Estado de São Paulo na escala 1:100.000, infelizmente incompleto, embasado nessas mesmas grandes categorias de relevo e de solos vigentes à época, como relevo fortemente ondulado, ondulado, suave ondulado e plano (CARVALHO; NUNES; ANTUNES, 2013), sem, entretanto, citar a palavra Geopedologia.

A EMBRAPA, bem mais tarde, criou as normas para levantamentos de solos (EMBRAPA, 1995) em que expõe os métodos de levantamento em escalas que variam desde os levantamentos exploratórios até os de ultradetalle e inclui as topossequências que correspondem a solos dispostos em seções topográficas que cortam superfícies geomórficas dos topos aos fundos de vale, como sugeriam Darlymple, Blong e Conacher (1968), mas não em *continuum* como sugeriram Boulet, Humbel e Lucas (1982). Publicou também os métodos analíticos de solos, hoje na 3ª edição (EMBRAPA, 2017). Tornou-se responsável pela coordenação da classificação taxonômica nacional de solos, mais tarde conhecida por SiBCS, cuja primeira edição já com essa denominação em 1999 (EMBRAPA, 1999), em 1ª aproximação, adaptando as classes de solo da *Soil Taxonomy* americana, da Word Reference Basis (WRB) da FAO, do *Référentiel pédologique français*, cujos critérios baseiam-se na morfologia do perfil de solo, a partir de uma tipologia de horizontes genéticos, diagnósticos, acompanhados da caracterização analítica. Todavia, o relevo é tomado apenas um dos cinco fatores de formação dos solos. O primeiro Mapa de Solos do Brasil, na escala 1:5.000.000, que seguiu essa 1ª aproximação foi publicado pela EMBRAPA (EMBRAPA, 1981), o qual reunia todo o conhecimento de solos acumulado até então, principalmente no IAC e no Projeto RADAMBRASIL. O relevo serviu como indicador das classes de solos e suas respectivas paisagens, mas, novamente sem utilizar o termo geopedologia.

No Brasil, a expressão de Geopedologia aparece em trabalhos bem mais recentes e associada a diferentes abordagens conceituais e metodológicas (CURCIO; UHLMANN; SEVEGNANI, 2006; NOWATZKI; SANTOS, 2010; PAULA; SANTOS; UBER, 2010; MELLO, 2019; SILVA, 2019). Para Curcio, Uhlmann e Sevegani (2006) a Geopedologia pode ser entendida como a combinação dos aspectos fisiográficos da área focada aplicados à compreensão das potencialidades e fragilidades da dinâmica do ambiente, sendo por vezes tratada na literatura como sinônimo de relação solo-paisagem, de relação solo-relevo, ou simplesmente correlata à cartografia de solos, sem grandes distinções conceituais.

Em síntese, pode-se dizer que a Geopedologia foi, de certo modo, praticada em parte no Brasil, em diferentes escalas, mas sem usar esse nome, e mais nos estudos em escala de semidetalle e detalhe em que as relações entre o solo e o relevo são mais evidentes.

3. A Geopedologia e o levantamento de solos

Geopedologia é um dos termos utilizados para proceder ao estudo das relações causais entre solo e relevo e teóricas entre Pedologia e Geomorfologia. A abordagem Geopedológica compreende os estudos que se utilizam de padrões geomórficos (tipos repetitivos de geoformas numa dada área), aplicados ao mapeamento pedológico (ROSSITER, 2000). Nesse sentido, cabe ressaltar que o estabelecimento de modelos relacionais, por meio de cronosequências ou topossequências, tiveram e têm um papel relevante como suporte ao mapeamento.

O precursor do termo Geopedologia na literatura científica foi Principi (1953), na Itália, numa publicação na qual ele apresenta a sua visão sobre os solos incorporando as ideias de Jenny (1941) sobre os seus respectivos fatores de formação. Paolo Principi (1884-1963) formalizou suas teorias sobre Geopedologia como sendo “o estudo do solo *in situ*, com suporte de dados geológicos”, contudo, estabelecendo relações com outras áreas do conhecimento (CALZOLARI; FILIPPI, 2016). É interessante assinalar que o termo Geopedologia continua sendo utilizado na Itália para designar programas acadêmicos relacionados à Ciência do Solo de um modo geral (ZINCK et al., 2016), diferentemente de outros países. Na Espanha, por exemplo, o termo é atribuído a Huguet del Villar (1929), quem o empregou pela primeira vez, bem antes de Principi, para tratar da Geografia dos Solos, porém que, posteriormente, o termo teria evoluído para Edafogeografia (RODRIGO-COMINO, 2017). Na França, o termo aparece na obra de Pouquet (1966) como uma abordagem para levantamentos de solos e estudos sobre a erosão e conservação dos solos (ZINCK et al., 2016).

A fim de avaliar a ocorrência de trabalhos que fazem uso do termo *Geopedologia* procedeu-se a uma consulta bibliométrica de artigos publicados em periódicos científicos incluídos nas bases de dados *Web of Science*, *Scopus* e *SciELO*, buscando trabalhos publicados de 1953 (desde Principi) até maio de 2021. Foi utilizada a estratégia de busca:

TÓPICO: (geopedolog*) OR TÓPICO: (geomorphopedolog*) OR TÓPICO: (morphopedolog*). Em seguida, realizou-se o procedimento para eliminar duplicidade entre os resultados. A pesquisa retornou um total de 196 publicações e os resultados estão representados na Figura 1.

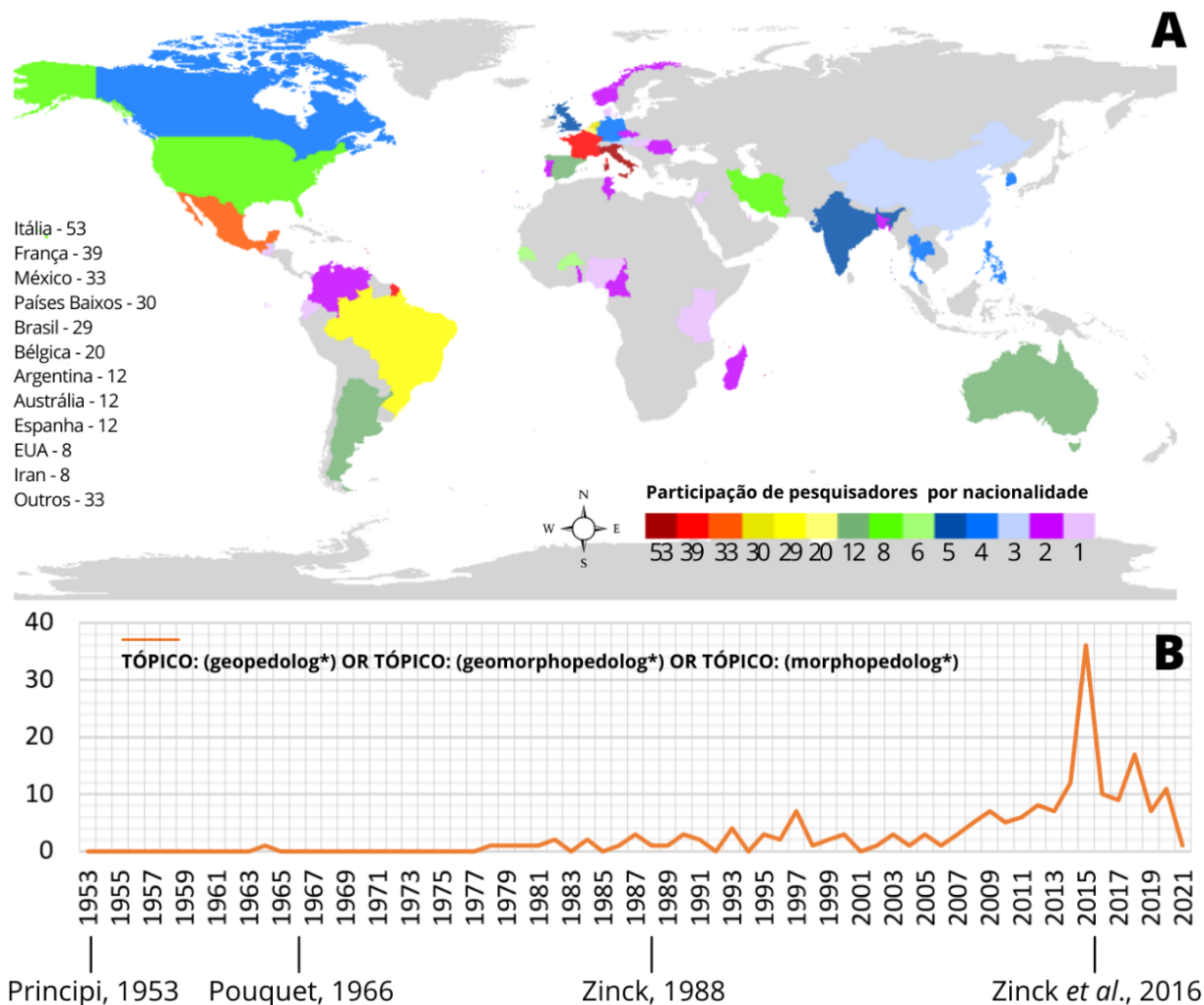


Figura 1. Síntese da busca bibliométrica de artigos que utilizam o termo “Geopedologia”, incluindo o número de pesquisadores por nacionalidade (A) e a quantidade e distribuição dos estudos ao longo do tempo (B), destacando os autores cujas obras foram estruturantes para a consolidação do conceito e do método, indicados na base do gráfico.

A Figura 1 permite perceber que o número de publicações que se refere aos termos de busca foram poucas até o início dos anos de 1980, apesar de apresentarem alguns picos, embora pouco relevantes até 2007, mas cresceu notavelmente daí em diante, sobretudo ao longo da última década (2011-2020), cujo pico deu-se em 2015, decrescendo depois. Tal fato pode estar relacionado ao revigoramento nos estudos sobre as relações entre solo e relevo e suas aplicações, impulsionados pelas modernas ferramentas digitais de aquisição e tratamento de dados que favoreceram as análises geoespaciais (McBRATNEY; SANTOS; MINASNY, 2003; SCULL et al., 2003), o que motivou a expressão Geografia do Solo Revigorada (MILLER et al, 2019).

Consultando os trabalhos listados nessa pesquisa bibliométrica pode-se constatar que a Geopedologia continua sendo amplamente utilizada na Itália e França e em alguns trabalhos na Espanha. Já no México se destaca mais, pois aparece em grande parte dos trabalhos (90%) publicados na última década, muito provavelmente influenciados por Zinck, posicionando esse país em terceiro lugar no *ranking* mundial, seguido pelos Países Baixos, país de origem deste referido autor, o qual também atuou na formação de geopedólogos em países da América Latina e do Sul, África e Ásia (ZINCK et al., 2016).

No entanto, cabe assinalar que as relações mais específicas entre solo e relevo podem ser analisadas sob diferentes perspectivas, sobretudo metodológicas, ao relembrar uma variedade de abordagens metodológicas e

escalares baseadas no conceito da análise bidimensional (2D) (catenas, topossequências, cronossequências, litossequências, biossequências, entre outras) e tridimensional (3D) (representações cartográficas) da paisagem, bem como operacionais, principalmente no âmbito dos levantamentos de solos, que podem ser representados por um esquema hierárquico de atividades (ZINCK et al., 2016; ROSSITER, 2016).

A abordagem geopedológica aqui discutida baseia-se na proposta formalizada por Zinck (1988) e sintetizada por Rossiter (2000), Zinck (2012) e Zinck et al. (2016), que consiste, fundamentalmente, nos vínculos genéticos entre solo e relevo e utiliza dados de sensoriamento remoto, observações de campo e determinações analíticas de solos e materiais aparentados, visando a identificação das relações causais da distribuição dos solos na paisagem, com finalidades práticas, conforme expresso por Zinck et al. (2016).

3.1. O enfoque Geopedológico como método para levantamento de solos

O enfoque geopedológico voltado ao levantamento de solos baseia-se na análise sistematizada do relevo quanto à identificação e classificação das suas geoformas em diferentes níveis taxonômicos/hierárquicos, como uma etapa preliminar para o delineamento das unidades de relevo (áreas homogêneas/compartimentos) e dos solos associados (unidades de mapeamento) (ROSSITER, 2000). Nesta perspectiva, o termo geoforma se refere às formas do relevo e abrange a totalidade das unidades taxonômicas.

Nos dizeres de Zinck (2012) as unidades geopedológicas podem ser associadas ao conceito de *soilscape*, contração de *Soil Landscape* (pedopaisagem) defendido por Buol, Hole e McCracken (1973), em que a paisagem, é de natureza geomórfica. Nesse sentido, a relação causal entre solo e relevo assume centralidade na análise e a paisagem geopedológica torna-se o paradigma dessa relação (ZINCK et al., 2016; SALDAÑA, 2016). Esta particularidade imprime características próprias ao método, que se reflete na legenda do mapa geopedológico, combinando as geoformas, como contornos das unidades de mapeamento (contentor) e as unidades taxonômicas de solos como componentes (conteúdos). A Figura 2 representa o método de classificação, cujo objetivo é identificar e organizar os solos em sua expressão geomorfológica a partir de um sistema de legenda hierarquizada (ZINCK et al., 2016).

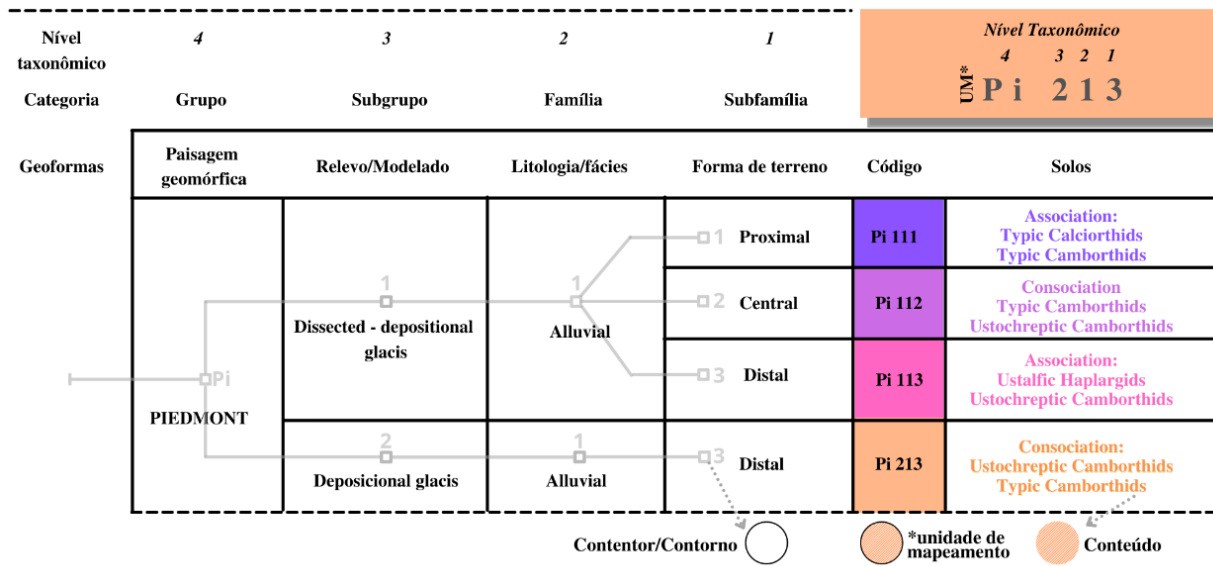
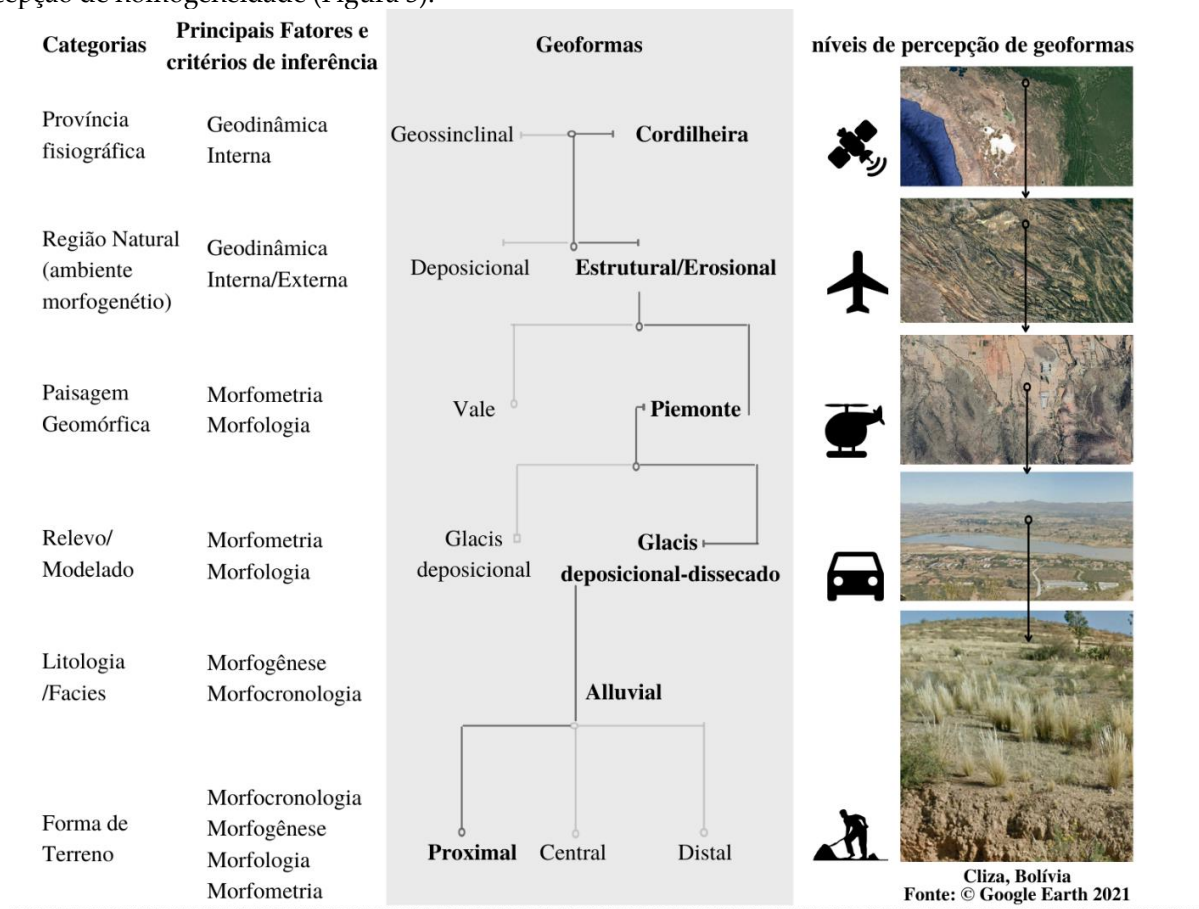


Figura 2. Organização da legenda de um mapa Geopedológico (Modificado de Zinck 1988). Classificação dos solos de acordo com *Soil Taxonomy* (SOIL SURVEY STAFF, 2014) e classificação das geoformas de acordo com Zinck, 1988.

Como destacam Méndez e Dualiby (2017), o enfoque geopedológico inclui quatro aspectos estruturantes: morfometria, morfogênese, morfocronologia e morfodinâmica. Segundo Farshad, Zinck e Shrestha (2016) a análise geomorfológica é realizada de maneira mais estrita, se comparada a outras abordagens (ex. análise fisiográfica) e busca identificar os processos que atuam no modelado da paisagem, permitindo inferir sobre as relações entre o relevo e os solos para prever a ocorrência e distribuição dos solos na paisagem. Segundo esses últimos autores, este modo de inferência é o cerne da geopedologia. Para Rossiter (2016), esta abordagem recebe destaque por basear-

se em uma análise sistemática-hierárquica da relação solo-paisagem e não num agrupamento pautado na percepção de homogeneidade (Figura 3).



Relações entre atributos geomórficos de acordo com as categorias do sistema

Atributos	Quantidade	Natureza	Função	Execução
Níveis superiores	Poucos	Descritiva Caracterização externa	Generalização Agregação	Interpretação de fotos aéreas e modelos numéricos de elevação
Níveis inferiores	Muitos	Genética Caracterização interna	Detalhamento Desagregação	Análises em campo e laboratoriais

Figura 3. Identificação das geoformas de acordo com níveis crescentes de percepção e a influência dos procedimentos analíticos a serem adotados na segmentação da paisagem geopedológica (Adaptado de Zinck, 1988).

3.2. Os procedimentos metodológicos: um sistema hierárquico de classificação das geoformas

Como exposto, a abordagem geopedológica aplicada aos levantamentos de solos pressupõe uma classificação taxonômica do relevo capaz de abranger diferentes níveis categóricos em função da intensidade e do nível de detalhe a ser empregado no mapeamento. Zinck (1988) apresenta uma proposta de classificação, que pode ser encontrada de modo detalhado em Zinck (2012) e Zinck et al. (2016). O Quadro 1, corresponde à estrutura geral desse sistema hierárquico proposto. Dado que o mapeamento geopedológico corresponde a um tipo de abordagem tradicional que serve para prever a ocorrência e distribuição dos solos, faz-se necessário compreender suas relações com o meio físico amparadas por uma estrutura de análise baseada na interpretação e compartimentação geomorfológica das paisagens.

Complementando, a dinâmica hídrica (superficial e subsuperficial) ao longo das vertentes tem grande influência nos processos pedogenéticos, pois que frequentemente a água é o veículo dos mecanismos de adição, remoção, transformação e translocação de constituintes no solo, tanto vertical como lateralmente, física ou quimicamente. Nas baixadas, soma-se os processos de sedimentação, que controlam a distribuição dos solos e suas propriedades nesses segmentos da paisagem, especialmente nas planícies e baixos terraços, além da acumulação de umidade que interfere no comportamento geoquímico de certos elementos como o ferro e o manganês

(óxidoredução). A título de exemplo, a Figura 4 representa um transecto através de uma vertente até os níveis de terraço do Rio Mogi-Guaçu, descrito por Celarino e Ladeira (2011).

Quadro 1. Síntese do sistema de classificação das geoformas proposto por Zinck (1988)

Nível	Categoria	Conceito	Breve definição
6	Ordem	Geoestrutura	Grande porção continental caracterizada por um determinado tipo de macroestrutura geológica (ex. cordilheira, geossinclinal, escudo)
5	Subordem	Ambiente morfogenético	Amplio tipo de ambiente biofísico originado e controlado por um tipo de geodinâmica interna e / ou externa (ex. estrutural, deposicional, erosional, etc.)
4	Grupo	Paisagem geomórfica	Grande parte de terreno / terreno caracterizado por determinadas características fisiográficas: corresponde a uma repetição de tipos de relevo / modelagem semelhantes ou uma associação de tipos de relevo / modelagem diferentes (ex. vale, planalto, montanha, etc.)
3	Subgrupo	Relevo/Modelado	Tipo de relevo originado por uma determinada combinação de topografia e estrutura geológica (ex. cuesta, horst, etc.). Tipo de modelado determinado por condições morfoclimáticas específicas e / ou processos morfogênicos (ex., glacis, terraço, delta, etc.)
2	Família	Litologia/facies	Natureza petrográfica dos embasamentos (ex. gnaiss, calcário, etc.) ou origem / natureza de formações de cobertura não consolidadas (ex. periglacial, lacustre, aluvial, etc.)
1	Subfamília	Forma de terreno	Tipo básico de geoforma caracterizado por uma combinação única de geometria, dinâmica e história

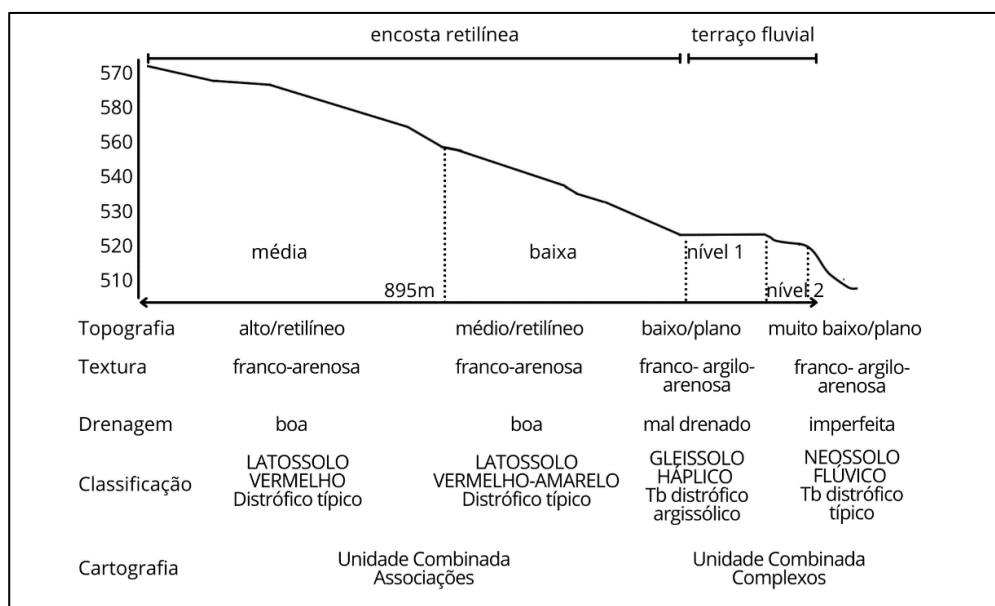


Figura 4. Modelo de paisagem geopedológica em uma vertente na Estação Ecológica de Jataí. Modificado de Celarino e Ladeira (2011)

As classes de solo apresentadas nessa Figura 4 correspondem aos solos dominantes em cada unidade geomórfica e, portanto, são delas representativos. De acordo com essa figura, ocorrem dois ambientes, aqui entendidos como compartimentos ou unidades geomórficas, se destacam nessa vertente quanto à dinâmica dos processos. O compartimento *encosta retilínea* ocorre nas porções mais altas da paisagem, cuja vertente apresenta baixa declividade e boa drenagem, o que favorece a circulação verticalizada de água e, conseqüentemente, maior intensidade e profundidade dos processos intempéricos, como lixiviação por exemplo. No segmento superior desse compartimento, as condições mais oxidantes predominam no segmento da alta até a média vertente e favorecem a preservação da hematita, resultando em LATOSSOLO VERMELHO distrófico típico. No segmento inferior desse compartimento predominam óxidos hidratados de ferro (goetita) e alumínio (gibsitita), conferindo tons mais amarelos característicos do LATOSSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico típico. No segundo compartimento, o do *terraço fluvial*, há poucas evidências de material coluvial, indicando que a dinâmica responsável pela formação dos solos nesta porção da paisagem está diretamente relacionada ao regime de sedimentação do próprio Rio Mogi-Guaçu, em dois níveis topográficos escalonados. A topografia plana e a proximidade com o nível de base local do primeiro nível favorece a ocorrência de processos de gleização, associados ao GLEISSOLO Háptico. No segundo nível, próximo ao canal, os processos de sedimentação fluvial prevalecem, resultando na ocorrência de solo aluvial, o NEOSSOLO FLÚVICO.

Da mesma forma que um mapa de solos convencional, as unidades de mapeamento recebem suas denominações em função dos solos principais e daqueles subordinados, que podem ter limites taxonômicos comuns e/ou algumas inclusões ou associações. Assim como, a depender do nível de detalhe empregado no delineamento e apresentação do mapa, admite-se unidades complexas, como no caso dos terraços. Apesar disso, uma vez que a topografia controla uma série de processos e confere determinadas propriedades aos solos, o delineamento das unidades geomórficas imprime certa homogeneidade na segmentação da paisagem que, de acordo com Zinck et al. (2016), permite uma interpretação confiável para fins de uso das terras.

É oportuno apresentar uma estrutura conceitual da abordagem geopedológica, o que é feito na Figura 5, que contempla as etapas do trabalho dessa natureza. Os dados são obtidos basicamente por intermédio de três fontes: 1) Interpretações visuais e/ou pelo processamento digital de imagens e modelos; 2) Observações de campo; 3) Dados provenientes de determinações analíticas de laboratório. As principais etapas metodológicas consistem em: 1) Interpretação e subdivisão da área em unidades significativas; 2) definição das áreas piloto (menor área que contém todos ou porções de todos os tipos de unidades geomórficas); 3) Extrapolação (transferência do conhecimento das áreas piloto para áreas de validação, não visitadas) (MOONJUN, 2007).

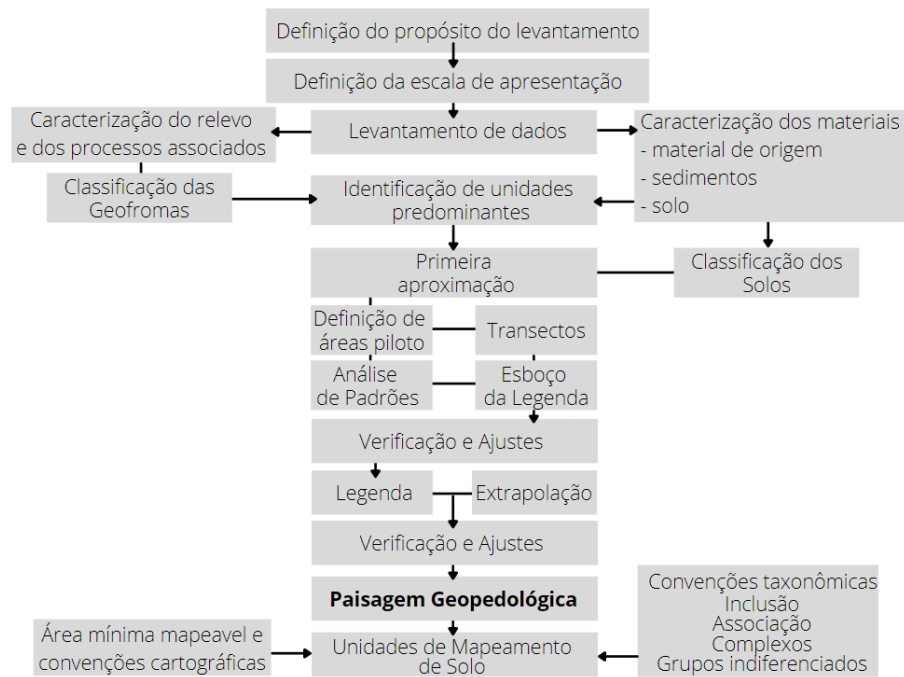


Figura 5. Modelo sintético da estrutura conceitual da abordagem geopedológica adaptado de Rossiter (2010); Zinck (2012) e Farshad, Shrestha e Moonjun (2013).

As etapas para a construção das legendas (FARSHAD; SHRESTHA; MOONJUN, 2013) são:

1. Interpretação de imagens (fotografias aéreas; imagens de radar; modelos digitais de elevação associados a imagens de satélite);
2. Delineamento das unidades predominantes (*master lines*);
3. Esboço: estabelecimento de uma série de seções transversais são selecionadas para cruzar as geoformas;
4. Reconhecimento de padrões: reconhecimento de unidades geomórficas ao longo de seções;
5. Delineamento: delimitação das unidades reconhecidas e início do esboço de uma legenda;
6. Composição da legenda: realização de ajustes e elaboração de legenda coerente a partir do preenchimento das colunas dos diferentes níveis hierárquicos;
7. Delineamento das unidades de mapeamento para toda extensão da área, utilizando a legenda desenvolvida no procedimento anterior;
8. Adição dos táxons de solo de acordo com o sistema de classificação utilizado;
9. Adição opcional de colunas à legenda, especificando outras informações a respeito dos solos, além da classificação taxonômica (ex. profundidade; características do material de origem)

A hierarquia das unidades de paisagem pode ser compreendida da seguinte forma (Figura 6; Quadro 2): cada unidade de paisagem geomórfica pode ser composta por mais de um tipo de relevo/modelado que pode ocorrer associado a diferentes litologias/fácies (material de origem). Qualquer tipo de relevo/modelado pode compreender mais de uma forma de relevo ou geoforma. A vantagem deste modelo de análise se dá pela abordagem escalar, realizada em estágios (*stepwise*) (FARSHAD; SHRESTHA; MOONJUN, 2013).

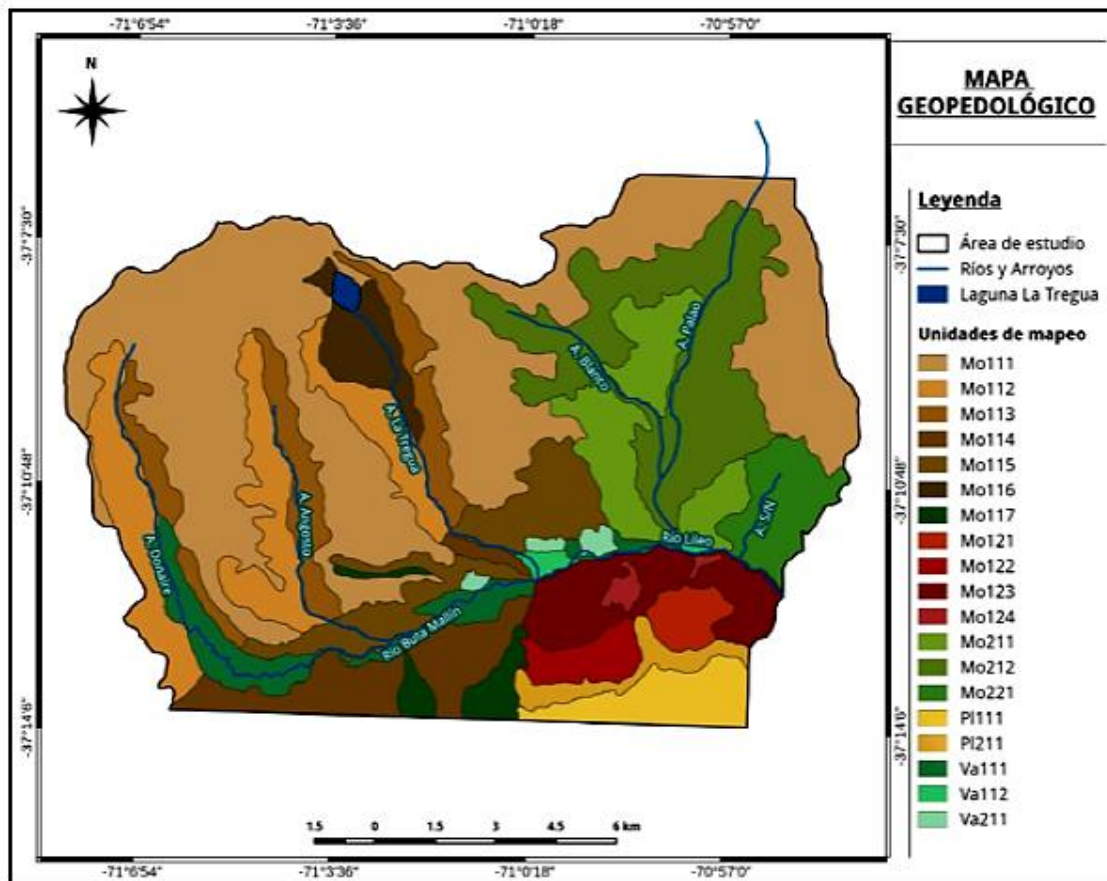


Figura 6. A figura representa um mapa Geopedológico elaborado para a bacia de Buta Mallín - Argentina (FRUGONI et al., 2016b) corrigir a legenda onde diz Unidades de mapeo. O que é mapeo? Não seria Unidades de Mapeamento?

Quadro 2. Legenda do mapa da figura 6 (Adaptado de Frugoni et al., 2016b.)

Paisagem	Relevo	Litologia	Forma do Terreno	Unid. de mapeamento	Área (ha)	Tipos de solo (classificação de solos americana)
Montanhas	Vertentes modeladas pela erosão glacial	Lapilli e cinzas vulcânicas sobre basaltos, andesitos, brechas e aglomerados vulcânicos	Picos e flancos altamente íngremes (incluindo divisores)	Mo111	7421,97	Cobertura de detritos e afloramentos rochosos
			Encosta íngreme da montanha. Aspecto ¹ geral E (terço médio e inferior)	Mo112	1915,02	Vitrixerandes húmicos Haploxerandes húmicos
			Encosta íngreme da montanha. Aspecto geral W (terço médio e inferior)	Mo113	1175,08	Vitrixerandes húmicos Vitrixerandes líticos

		Encosta íngreme da montanha. Aspecto geral N (terço médio e inferior)	Mo114	1035,05	Vitrikerandes húmicos Vitrikerandes líticos Afloramentos
		Encosta íngreme da montanha. Aspecto geral S (terço médio e inferior)	Mo115	1141,02	Vitrikerandes húmicos Haplokerandes húmicos
		Base inclinada da montanha	Mo116	479,8	Vitrikerandes húmicos Haplokeroles vitrandícos cobertos de detritos aluvio-colvionares
		Vale suspenso	Mo117	325,6	Endoacuandes típicos
	cobertura descontínua de <i>lapilli</i> e cinza vulcânica em tufo e basalto	Vertente complexa (terço superior)	Mo121	250,74	Haplokeroles vitrandícos Cobertura detrítica e Afloramentos
		Vertente ligeiramente inclinada (terço superior)	Mo122	304,27	Vitrikerandes húmicos
		Vertente muito íngreme (terço médio e inferior)	Mo123	885,82	Argikeroles húmicos Haplokeroles vitrandícos Afloramentos
		Mallín ² de encosta	Mo124	87,63	Arglacuoles típicos

¹ O Aspecto da topografia indica a direção a qual as vertentes estão voltadas. ² Os *mallines* podem ser descritos como áreas baixas do relevo, com características hidromórficas, devido a inundações/saturações periódicas. Diferenciam-se das áreas circundantes devido a ocorrência de solos com elevado conteúdo de matéria orgânica.

3.3. As aplicações dos levantamentos geopedológicos e avaliação dos dados cartográficos

3.3.1. Levantamentos geopedológicos e suas aplicações

A Geopedologia, como vista até aqui, tem sido utilizada comumente como um protocolo de trabalho em levantamentos de solos. Sua aplicação para fins práticos é destacada por Rossiter (2000) e Zinck et al. (2016). Ao longo das últimas décadas, diversos foram os estudos que se utilizaram desta abordagem, associando-se a certos temas de investigação, comumente voltados à conservação de solos. Zinck et al. (2016) trazem uma grande contribuição neste sentido, apresentando estudos de caso mais recentes que corroboram a variedade atual de aplicações da Geopedologia. Alguns destes temas também são aqui contemplados.

Méndez e Dualiby (2017) contribuem com uma retomada histórica dos levantamentos de solos na Colômbia e destacam a utilização do mapeamento geopedológico como base para a delimitação de unidades de ecossistemas em todo o território em diferentes escalas. Frugoni et al. (2016a; 2016b) fizeram uso do levantamento geopedológico para fins de planejamento de atividades de florestamento, na província de Neuquén, Argentina. Os mapas foram concebidos através de fotointerpretação, associada a SIG, na escala de semidetalhe – 1:25.000 (FRUGONI et al., 2016a) – 1:50.000 (FRUGONI et al., 2016b). As autoras destacam seu potencial para o planejamento de uso do solo, referindo-se ao método como adequado para a determinação de classes de aptidão.

Saldaña, Ibáñez e Zinck (2011) conduziram estudos sobre evolução dos solos e mudanças na paisagem durante o Plio-Quaternário na Espanha. O levantamento geopedológico serviu como base para uma série de análises a partir de índices aplicados ao reconhecimento de padrões (ex. diversidade de unidades geopedológicas, diversidade espacial relativa). A pesquisa foi conduzida em diferentes escalas, tanto do ponto de vista espacial (regional – 1043 km²; e local 104 km²), quanto do nível de detalhe cartográfico (1:50.000 e 1:18.000 respectivamente). Os autores atestam que o uso conjunto destes índices e dos mapas geopedológicos permitiram descrever quantitativamente as características das pedopaisagens e analisar aspectos de sua evolução, como a diversificação devido ao sistema deposicional ou processos de dissecação atuando nas diferentes escalas.

Vizgarra et al. (2018) conduziram um levantamento geopedológico, em Santiago del Estero (Argentina) a fim de se estabelecer uma relação solo-paisagem como marco conceitual para levantamentos semidetalhados de solos. O trabalho abarcou uma área de 11.000 ha e foi mapeado na escala de 1:50.000. De acordo com as autoras, a análise sistêmica da relação solo-relevo permitiu compreender, de modo satisfatório, a distribuição dos solos na área de estudos, com potencial para amparar levantamentos pedológicos na escala referida para a região (VIZGARRA et al., 2018).

No Equador, entre os anos de 2009 e 2013 foi implementado o *Plan Nacional para el Buen Vivir*, buscando estratégias para elevar a produtividade do setor agrário. No escopo deste programa, foi solicitado o levantamento multipropósito em escala de semidetalhe. A fim de cumprir esta tarefa, foi aplicada uma abordagem sistêmica (Geopedológica) apoiada na utilização de sistemas de informação geográfica (SIGs). Como resultado, foi gerado um mapa geopedológico para uma área de 692.461 ha, na escala de 1:25 000 (VÁSQUEZ, 2010).

Algo recorrente nos trabalhos consultados foi a possibilidade de redução de custos, e sobretudo, pelo menor tempo necessário para realização do levantamento e a integração de informações sobre solos e relevo (ZINCK et al., 2016), que foram algumas das justificativas apontadas para a utilização do procedimento geopedológico.

A seguir apresenta-se algumas considerações sobre a eficiência da abordagem geopedológica na espacialização de informações sobre solos, considerando-se os métodos de interpretação, a aplicabilidade e a qualidade das informações contidas nas unidades de mapeamento.

3.3.2. A avaliação da a eficácia, adequabilidade e qualidade das informações obtidas pela abordagem geopedológica para o levantamento de solos

Farshad, Zinck e Shrestha (2016) avaliaram a eficácia da interpretação geopedológica (ZINCK, 1988) em detrimento da fisiográfica (BENNEMA; GELENS, 1969) para o delineamento de unidades de paisagem numa escala de 1:35.000. As interpretações foram comparadas por meio de índices de análise de padrão. A abordagem geopedológica resultou em formas mais complexas e com maior densidade de segmentação da paisagem. Ademais apresentou alta correspondência com um mapa de solos da mesma área.

Além dos levantamentos de classes de solos, há quem busque estabelecer outras relações com processos e propriedades dos solos. Shrestha et al. (2016), por exemplo, discorrem sobre a adequabilidade das informações obtidas através do mapeamento geopedológico para avaliar a degradação dos solos. De acordo com os autores, os procedimentos contribuíram de modo eficiente. Assim como Farshad, Zinck e Shrestha (2016), Shrestha et al. (2016) ressaltam o potencial explanatório do método, por permitir acessar relações de causa efeito entre os tipos de solo, sua distribuição e os riscos para a degradação dos solos.

Todavia, algumas limitações devem ser consideradas. Allende e Mendoza (2007) não encontraram bons resultados na aplicação do levantamento geopedológico para acessar os padrões de infiltração de água nos solos. Variações nas propriedades dos solos causadas pela atividade antrópica, parecem trazer limitações ao método, impondo a necessidade de incorporar informações, como por exemplo, sobre uso e manejo dos solos (SHRESTHA et al., 2016). Farshad, Zinck e Shrestha (2016) avaliaram a eficácia do método considerando a segmentação das unidades geomórficas. A abordagem geopedológica resultou em formas mais complexas e com maior densidade de segmentação da paisagem, entretanto, isso não responde sobre a homogeneidade da distribuição dos solos nestes seguimentos. Borujeni et al. (2008) estimaram a homogeneidade dos tipos de solo numa unidade geomórfica em um levantamento realizado na escala de 1:20.000 em que as unidades de mapeamento não apresentaram a homogeneidade esperada. Ao variar a localização das áreas de amostragem dos perfis modais observou-se mudanças na classificação, tanto em nível taxonômico, quanto no tipo da unidade de mapeamento.

Assim, cabe indagar: em que medida a abordagem geopedológica é eficaz para a generalização de resultados?

Borujeni et al. (2009) descrevem o aumento da variabilidade de solos, a partir do nível de grande grupo para diferentes intensidades de observações. Os autores também questionam a influência da proporção 90/10 para amostragem e validação respectivamente (ROSSITER, 2000), sobre a acurácia e a confiabilidade das generalizações no mapeamento geopedológico. Neste sentido, “cavar apenas alguns perfis na área de validação, a fim de diminuir o tempo e o orçamento, pode ser ilusório porque a realidade da variabilidade do solo fica mais clara apenas em grandes escalas” (BORUJENI et al., 2009 p.24). Borujeni et al. (2008; 2009) ainda esclarecem que o intervalo de amostragem deve imprimir efeitos diretos na acurácia das estimativas e concluem que a abordagem geopedológica é fortemente influenciada pelas escalas e recomenda sua utilização em levantamentos de reconhecimento ou exploratórios (menores do que 1:50.000, por exemplo entre 1:250.000 e 1:750.000). Em contraposição, Rossiter (2000) e Udomsri (2006) defendem o uso da abordagem geopedológica a partir da escala de semidetalhe (1:50.000).

4. Considerações finais

Apesar de bastante difundida entre os países da América Latina, sobretudo Colômbia e Venezuela, a abordagem geopedológica para levantamento de solos foi menos difundida no Brasil sob o título de Geopedologia. Grande parte dos estudos reservam-se a aplicações dos métodos de análise, como as topossequências ou mesmo conceituais, como a utilização integrada de aspectos fisiográficos ou morfopedológicos (geológicos, geomorfológicos e pedológicos) para delimitação e interpretação das dinâmicas da paisagem.

Os mapas geopedológicos parecem apresentar bons resultados em escalas cartográficas menores, até o nível de semidetalhe (1:50.000). Nesse sentido, espera-se que uma unidade de mapeamento de solos seja a mais homogênea possível. Aparentemente, o modelo tende a apresentar maior heterogeneidade quando os solos são classificados em maior nível de detalhe taxonômico, sobretudo série e família.

Todavia, poucos são os estudos que se dedicaram a avaliação dos procedimentos, considerando a acurácia das predições e a confiabilidade das generalizações. A realização destas abordagens poderia contribuir para compreender melhor as limitações e potencialidades do método.

Grande parte dos estudos avaliados neste trabalho fizeram uso de técnicas convencionais/analógicas para a interpretação de imagens e delineamento das unidades geomórficas. Parâmetros morfométricos apoiados pelo Mapeamento Digital de Solos poderiam ser mais bem explorados.

Um dos grandes questionamentos ao mapeamento tradicional de solos se dá pela dificuldade da transferência do modelo mental do pedólogo para explicar as relações solo-paisagem. A utilização da abordagem geopedológica parece tornar essa relação mais clara.

Por fim, apesar de sua aplicação natural a questões práticas, em especial para atividades de planejamento, a geopedologia também apresenta potencial para aplicações em estudos sobre a dinâmica das paisagens e reconhecimento de padrões da distribuição dos solos.

Contribuições dos Autores: Diego Fernandes Terra Machado (1) participou de todas as etapas de desenvolvimento desse trabalho, uma vez que o manuscrito apresentou parte dos resultados obtidos em seu doutorado. Selma Simões de Castro (2) participou da supervisão da pesquisa bibliográfica e bibliométrica, revisão de texto e supervisão teórica. Francisco Sergio Bernardes Ladeira (3) participou da concepção metodológica, redação do artigo, revisão e supervisão da pesquisa. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Esta pesquisa foi financiada pela CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) por meio de bolsa de doutorado concedida ao primeiro autor.

Agradecimentos: Selma Simões de Castro e Francisco Sergio Bernardes Ladeira agradecem a bolsa produtividade em pesquisa CNPq (Processos 306601/2020-6 e 307951/2018)

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse. Os financiadores não tiveram interferência no desenvolvimento do estudo; na coleta, análise ou interpretação dos dados; na redação do manuscrito, ou na decisão de publicar os resultados.

Referências

1. ALLENDE, C.; MENDOZA, M. E. Cartografía geopedológica aplicada al cálculo de infiltración. **Ciencia Nicolaita**, n. 47, p. 103–118, 2007.
2. AMUNDSON, R. Factors of soil formation in the 21st century. **Geoderma**, v. 391, n. 1 p. 114960, 2021.

DOI:10.1016/j.geoderma.2021.114960.

3. ARCHELA, R. S. Bibliografia analítica das pesquisas em cartografia e a cartografia escolar no Brasil. **Boletim de Geografia**, v. 19, n. 2, p. 334-346, 2001.
4. ARRUDA, G. P. de; DEMATTÊ, J. A. L. M.; CHAGAS, C. S. Mapeamento digital de solos por redes neurais artificiais com base na relação solo-paisagem. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n, 37, p. 327-338, 2013. DOI: 10.1590/S0100-06832013000200004.
5. BENNEMA, J.; GELENS, H. F. **Aerial photo-interpretation for soil surveys**. Enschede: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), 1969. 87p. Lecture Notes.
6. BORUJENI, I. E.; SALEHI, M. H.; TOOMANIAN, N.; MOHAMMADI, J. Can Location of Sample Area and Expert Knowledge Affect the Results of Geopedological Approach in Soil Mapping? In: International Meeting on Soil Fertility Land Management and Agroclimatology, Turkey. **Anais...** Turkey: 2008. p. 337-343.
7. BORUJENI, I. E.; SALEHI, M. H.; TOOMANIAN, N.; MOHAMMADI, J. POCH, R.M. The effect of survey density on the results of geopedological approach in soil mapping: A case study in the Borujen region, Central Iran. **Catena**, v. 79, n. 1, p. 18-26, 2009. DOI: 10.1016/j.catena.2009.05.003.
8. BOULET, R.; HUMBEL, F. X.; LUCAS, Y. Analyse structurale et cartographie en pédologie I. Prise en compte de l'organisation bidimensionnelle de la couverture pédologique: les études de toposéquences et leurs principaux apports à la connaissance des cols. **Cahiers ORSTOM**, v.19, n.4, p. 309-322, 1982.
9. BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral (1973-1987). **Projeto Radambrasil. Levantamento de recursos naturais**. 34 vols. Rio de Janeiro.
10. BREVIK, E. C.; CALZOLARI, C.; MILLER, B. A.; PEREIRA, P.; KABALA, C.; BAUMGARTEN, A.; JORDÁN, A. Soil mapping, classification, and pedologic modeling: History and future directions. **Geoderma**, v. 264, p. 256-274, 2016. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.05.017.
11. BREVIK, E. C.; FENTON, T. E.; HOMBURG, J. A. Historical highlights in American soil science — Prehistory to the 1970s. **Catena**, v. 146, p. 111-127, 2016. DOI: 10.1016/j.catena.2015.10.003.
12. BUOL S. W.; HOLE F. D.; MCCRACKEN R. J. **Soil genesis and classification**, 1ª Ed. Iowa State University Press, Ames, 1973. 360p.
13. CALZOLARI, C.; FILIPPI, N. Evolution of key concepts in modern pedology with reference to Italian soil survey history. **Geoderma**, v. 264, p. 275-283, 2016. DOI: 10.1016/j.geoderma.2015.08.024.
14. CAMPOS, M. C. C. **Pedogeomorfologia aplicada à ambientes amazônicos do médio Rio Madeira**. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2009. 224p.
15. CAMPOS, M. C. C. Relações solo-paisagem: conceitos, evolução e aplicações. **Revista Ambientia**, v. 8, n. 3, p. 963-982, 2012.
16. CAMPOS, M. C. C.; MARQUES JÚNIOR, J. PEREIRA, G. T.; MONTANARI, R.; CAMARGO, L. A. Relações solo-paisagem em uma litossequência arenito-basalto na região de Pereira Barreto, SP. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 3, p. 519-529, 2007. DOI: 10.1590/S0100-06832007000300012.
17. CAMPOS, M. C. C.; RIBEIRO, M. R.; SOUZA JÚNIOR, V. S. de; RIBEIRO FILHO, M. R.; ALMEIDA, M. C. de. Relações solo-superfície geomórfica em uma topossequência várzea-terra firme na região de Humaitá (AM). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36 p. 325-336, 2012. DOI: 10.1590/S0100-06832012000200002
18. CARVALHO, C.C.N.; NUNES, F.C.; ANTUNES, M. A.H. Histórico do levantamento de solos no Brasil: da Industrialização brasileira à era da informação. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 5, n. 65, p. 997-1013, 2013.
19. CASTRO, S. S. Solo e relevo: pontos para um resgate histórico sobre o estudo das interrelações. **WMD Geomorfologia**, v. 2, n. 1, p. 1-36, 2021. DOI: <https://doi.org/10.48025/ISSN2675-6900.v2n1.2021.138>.

20. CELARINO, A. L. S.; LADEIRA, F. S. B. Mineralogy of the clay fraction of soils on toposequence in a transition slope-quaternary alluvial sediments of the Mogi Guaçu river in the Ecological Station of Jataí, Luis Antônio, SP. **Geociências**, v. 1, n. 30, p. 47-61, 2011.
21. COELHO, M. R.; MARTINS, V. M.; VIDAL-TORRADO, P.; SOUZA, C. R. G.; PEREZ, X. L. O.; VÁZQUEZ, F. M. Relação solo-relevo-substrato geológico nas restingas da planície costeira do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, p. 833-846, 2010. DOI: 10.1590/S0100-06832010000300025
22. CONACHER, A. J.; DALRYMPLE, J. B. The nine unit land surface model: An approach to pedogeomorphic research. **Geoderma**, v. 18, p. 1-154, 1977.
23. CRIVELANTI, R.C. **Mineração de dados para inferência da relação solo-paisagem em mapeamentos digitais de solos**. Dissertação (Mestrado em Agricultura Tropical e Subtropical) – Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical e Subtropical, Instituto Agrônomo (IAC), Campinas. 2009. p.132.
24. CURCIO, G. R.; UHLMANN, A.; SEVEGNANI, L. **A Geopedologia e sua Influência sobre espécies arbóreas de florestas fluviais**. Colombo: EMBRAPA FLORESTAS, 2006. 31p. Nota técnica n. 135.
25. DANIELS, R. B.; GAMBLE, E. E.; CADY, J. G. The relation between geomorphology and soil morphology and genesis. **Advances in Agronomy**, v. 23, p. 51-88, 1971. DOI: 10.1016/S0065-2113(08)60150-9.
26. DALRYMPLE, J. B.; BLONG, R. J.; CONACHER, A. J. A hypothetical nine unit land a surface model. **Geomorphology**, v.12, p.60-76, 1968.
27. EFFLAND, A. B. W.; EFFLAND, W. R. Soil Geomorphology Studies in the U.S. Soil Survey Program. **Agricultural History Society**, v. 66, n. 2, p. 189-212, 1992.
28. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: Embrapa-SNLCS, 1981. 1 mapa, color., 93 cm x 1,20 m. Escala 1:5.000.000.
29. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro. RJ). **Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos**/Humberto Gonçalves dos Santos et al. Brasília: EMBRAPA, SPI. 1995.
30. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 1.ed. Brasília: 1999.
31. EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro. RJ). **Manual de Métodos de Análises de Solos**/Paulo Cesar Teixeira et al: EMBRAPA, SPI, 3a ed., 2017.
32. EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 3.ed. Brasília: 2018.
33. ESPINDOLA, C. R. A pedologia e a evolução das paisagens. **Revista do Instituto Geológico**, v. 31 n. 1-2, p. 67-92, 2010. DOI: 10.5935/0100-929X.20100005
34. ESPINDOLA, C. R. A institucionalização da pedologia como ciência por Friedrich Albert Fallou – o caso brasileiro. **Revista do Instituto Geológico**, v. 35, n. 1, p. 61-70, 2014. DOI: 10.5935/0100-929X.20140005
35. FARSHAD, A.; SHRESTHA, D. P.; MOONJUN, R. Do the Emerging Methods of Digital Soil Mapping Have Anything to Learn from the Geopedologic Approach to Soil Mapping and Vice Versa ? In: SHAHID, S.; TAHA, F.; ABEDLFATTAH, M. (Ed.). **Developments in Soil Classification, Land Use Planning and Policy Implications: Innovative Thinking for Land Use Planning and Management of Land Resources**. 1. ed. Dordrecht: Springer, 2013. p. 109-131.
36. FARSHAD, A.; ZINCK, J. A.; SHRESTHA, D. P. Geopedology Promotes Precision and Efficiency in Soil Mapping. Photo-Interpretation Application in the Henares River Valley, Spain. In: ZINCK, J. A.; METTERNICHT, G.; BOCCO, G.; VALLE, H. F. del (ed.). **Geopedology - An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies**. Switzerland: Springer, 2016. p. 347-360.
37. FIGUEREDO, M. A.; VARAJÃO, A. F. D. C.; FABRIS, J. D.; LOUTFI, I. S.; CARVALHO, A. P. Alteração superficial e pedogeomorfológica no sul do Complexo Baçao – Quadrilátero Ferrífero (MG). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 713-729, 2004.
38. FLACH, C.W.; CORREA, E.A. Levantamento de solos no Brasil: métodos, práticas e dificuldades. **Geographia**

- Meridionalis** v. 03, n. 03, p. 420–431, 2017
39. FRUGONI, M. C.; DEZZOTTI, A.; MEDINA, A.; SBRANCIA, R.; MORTORO, A. Design and Evaluation of an Afforestation Project Based on Geopedologic and Ecological Information in North-Western Patagonia, Argentina. In: ZINCK, J. A.; METTERNICHT, G.; BOCCO, G.; VALLE, H. F. del (ed.). **Geopedology - An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies**. Switzerland: Springer, 2016a. p. 489-504.
 40. FRUGONI, M. C.; MUSSO, R. G.; FALHO, G.; ZAPIOLA, D. La Geopedologia como base para zonificar la aptitud forestal en un cuenca del noroeste de la Patagonia Argentina. **Boletín geográfico**, n. 38, p. 29–48, 2016b.
 41. GOOSEN D. **Interpretación de fotos aéreas y su importancia en levantamiento de suelos**. Rome: FAO, 1968. 114p. Boletín de Suelos 6.
 42. GREENE, H. Soil formation and water movement in the tropics. **Soil Fertility**, vol. 10, p. 253–256, 1947.
 43. HILGARD, E.W. **Soils, Their Formation, Properties, Composition, and Relations to Climate and Plant Growth in the Humid and Arid Regions**. New York, Macmillan, 1907. 593p. DOI: 10.5962/bhl.title.24461.
 44. HOLE, F. D. An approach to landscape analysis with emphasis on soils. **Geoderma**, v. 21, n. 1, p. 1-23, 1978.
 45. HOLLIDAY, V.T. A history of soil geomorphology in the United State. In: Warkentin, B.P. (Ed.), **Footprints in the Soil: People and Ideas in Soil History**. Amsterdam: Elsevier, 2006. P. 187–254.
 46. HUDSON B. D. The soil survey as paradigm-based science. **Soil Science Society of America Journal**, v. 56 p. 836–841, 1992. DOI: 10.2136/sssaj1992.03615995005600030027x
 47. HUGUET DEL VILLAR, E. **Geodafología. Método universal de tipología de suelos como base de su cartografía harmónica**. Barcelona: Geocrítica, 1929. 315p.
 48. JENNY, H. **Factors of soil formation: a system of quantitative pedology**. New York: McGraw-Hill, 1941. 281p.
 49. JENNY, H. Arrangement of soil series and types according to functions of soil-forming factors. **Soil Science**, v. 61, n. 5, p. 375-392, 1946. DOI: 10.1097/00010694-194605000-00005
 50. JUNGERIUS P. D. Soils and geomorphology. In: Jungerius PD (Ed.). **Soils and geomorphology**, v. 6, Catena supplement. Catena Verlag, Cremlingen, 1985. p. 1–18.
 51. KELLOGG, C. E. **Soil Survey Manual**. U.S. Department of Agriculture Miscellaneous Publication, Washington, D.C., USA. 1937.
 52. LAL, R. Depletion and Restoration of Carbon in the Pedosphere. **Pedologist**, v. 53, n. 3, p. 19–32, 2010
 53. LARACH, J. O. Histórico do Levantamento de Solos no Território Nacional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26, 1997, Rio de Janeiro, **Anais...** Rio de Janeiro: SBCS, 1997. 1 CD –ROM.
 54. LEPSCH, I. F. **19 Lições de Pedologia**. São Paulo: Oficina de Textos. 2011, 456p.
 55. LEPSCH, I. F.; BUOL, S. W.; DANIELS, R. B. Soil-landscape Relationships in the Occidental Plateau of São Paulo State, Brazil: I. geomorphic surfaces and soil mapping units. **Soil Science Society Of America Journal**, v. 41, n. 1, p. 104-109, 1977. DOI: 10.2136/sssaj1977.03615995004100010030x.
 56. LOPES, L. M.; CARRARO, N. S. R. Geomorfopedologia da Serra da Areia e entorno, sudoeste de Goiânia, Go. **GEOGRAFIA**, v. 30, n. 2, p. 303-323, 2005.
 57. MARBUT, C. F. A scheme of soil classification. In: FIRST INTERNATIONAL CONGRESS OF SOIL SCIENCE, 1, 1927, Washington. **Proceeding...** Washington: Edited by Waskman, S.A.; Deemer, R.B., 1927. p. 1-31.
 58. McBRATNEY, A. B., SANTOS, M. L. M., MINASNY, B. On digital soil mapping. **Geoderma** v. 117, n, 1-2, p. 3–52, 2003. DOI: 10.1016/S0016-7061(03)00223-4
 59. MELLO, F. A. O. **Compartimentação da paisagem via relevo e rede de drenagem e sua relação com atributos e classes de solos**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Solos e Nutrição de Plantas, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2019. 65p.
 60. MÉNDEZ, C. E. C.; DUALIBY, Y. del C. A. Implementación del mapa de geopedología como base para la delimitación de

- unidades de ecossistemas a nível nacional en Colombia. **Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica**, v. 20, n. 1, p. 175–185, 2017. DOI: 10.31910/rudca.v20.n1.2017.74
61. MILLER, B. A.; BREVIK, E. C.; PEREIRA, P.; SCHAETZL, R. J. Progress in soil geography I: reinvigoration. *Progress In Physical Geography: Earth and Environment*, v. 43, n. 6, p. 827-854, 2019.
62. MILNE, G. Some suggested units of classification and mapping particularly for East African soils. **Soil Research - Bodenkundliche Forschung**, Supplement to the Proceedings of the International Union of Soil Science IV, v. 4, n. 3, p. 183-198, 1935.
63. MILNE, G. Normal erosion as a factor in soil profile development. **Nature**, v. 26, p. 548-549, 1936.
64. MILNE, G. A Soil Reconnaissance Journey Through Parts of Tanganyika Territory December 1935 to February 1936. **Journal of Ecology**, v. 35, n. 1/2, p. 192–265, 1947.
65. MOONJUN, R. **Application of artificial neural network and decision tree in a GIS- based predictive soil mapping for landslide vulnerability study: a case study Hoi Num Rin sub-watershed, Thailand**. Dissertação (Mestrado) - International Institute for Geo- information Science and Earth Observation, Enschede. 2007. 196p.
66. MOTTA, P. E. F. da; CARVALHO FILHO, A. de; KER, J. C.; PEREIRA, N. R.; CARVALHO JUNIOR, W. de; BLANCANEUX, P. Relações solo-superfície geomórfica e evolução da paisagem em uma área do Planalto Central Brasileiro. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 37, n. 6, p. 869-878, 2002. DOI: 10.1590/S0100-204X2002000600017.
67. NAKASHIMA, M. R. et al. Dos solos à paisagem: uma discussão teórico-metodológica. **Revista da Associação Nacional de Pós-graduação e Pesquisa em Geografia (Anpege)**, v. 13, n. 20, p. 30–52, 2017.
68. NOWATZKI, A.; SANTOS, L. J. C. Relações entre a geopedologia e as áreas de preservação permanente nas bacias hidrográficas dos rios Alto Cachoeira e Sagrado, Estado do Paraná, Brasil. In: BATEIRA, C.; SOARES, L.; GOMES, A.; CHAMINÉ, H. I. (Ed.). **Geomorfologia 2010**. 1ªEd. Porto: Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Sersilto - Empresa Gráfica, Lda., 2010. p. 29–39.
69. OLIVEIRA, J. G. de; SANTOS, L. J. C.; CALEGARI, M. G. Relação solo-relevo em sistema pedológico ARGISSOLO-NEOSSOLO QUARTZARÊNICO na região noroeste do estado do Paraná: caso de Amaporã. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.21, n.3, p.661-675, 2020. DOI: 10.20502/rbg.v21i3.1786
70. PAULA, E. V. ; SANTOS, L. J. C.; UBER, J. A. Análise da Suscetibilidade Geopedológica à Produção de Sedimentos na Área de Drenagem da Baía de Antonina/PR. **Revista de Geografia**, v. 2, p. 134-147, 2010.
71. POUQUET J. **Initiation géopédologique. Les sols et la géographie**. Paris: SEDES, 1966. 267p.
72. PRINCIPI P. **Geopedologia (Geologia Pedologica)**. *Studio dei terreni naturali ed agrari*. Roma: Ramo Editoriale degli Agricoltori, 1953. 557p.
73. QUEIROZ NETO, J. P. de. Relações entre as vertentes e os solos: revisão de conceitos. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 3, p. 15–24, 2011. DOI: 10.20502/rbg.v12i0.255
74. RAMMAN, F. **Forstliche Bodenkunde und Standortslehre**. Berlin: Verlag von Julius Springer, 1893. 480p.
75. RODRIGO-COMINO, J. **Un análisis geomorfológico y edafogeográfico del territorio**. Saarbrücken: Editorial Académica Española, 2017. 128p.
76. RODRIGO-COMINO, J. SENCIALES, J. M.; CERDÀD, A.; BREVIKE, E. C. The multidisciplinary origin of soil geography: A review. **Earth-Science Reviews**, v. 177, p. 114–123, 2018. DOI: 10.1016/j.earscirev.2017.11.008
77. ROSS, J.S. O relevo brasileiro nas macroestruturas antigas **Revista Continentes**, ano 2, n.2, 2013.
78. ROSSITER D. G. **Methodology for soil resource inventories**. Enschede: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), 2000. 132p. Lecture notes, 2nd revised version.
79. ROSSITER, D.G. Knowledge Is Power: Where Geopedologic Insights Are Necessary for Predictive Digital Soil Mapping. In: ZINCK, J. A.; METTERNICHT, G.; BOCCO, G.; VALLE, H. F. del (ed.). **Geopedology - An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies**. Suíça: Springer, 2016. p. 227-238.

80. RUBIRA, F.G.; BARREIROS, A.M.; VILLELA, F.N.J.; PEREZ FILHO, A. Pedogeomorphological systems in the interpretation of the evolution of quaternary landscapes in humid tropical climates. **Mercator**, Fortaleza, v. 18, e18020, 2019. ISSN:1984-2201.
81. RUELLAN, A. Classification of pedological systems: A challenge for the future of soil science. **Annals of Agrarian Science**, v. 3, n.3, p. 24-28, 2005.
82. RUHE, R. V., 1956, Geomorphic surfaces and the nature of soils: **Soil Science** v. 82, p. 441—455.
83. RUHE, R.V. Elements of the Soil Landscape. 7th Intern. Congress of Soil Science, Madison, WISC, U.S.A., V.2 3, p.165=170, 1960.
84. RUELLAN, A. DOSSO, M. **Regards sur le Sol**. UREF-Les Editions Foucher, Paris. 1993. 192 p.
85. RUHE, R.V. **Geomorphology, Geomorphic processes and surficial geology**. Houghton Mifflin: Boston, 1975. 246p.
86. SALDAÑA, A. Geopedology, a Tool for Soil-Geoform Pattern Analysis. In: ZINCK, J. A.; METTERNICHT, G.; BOCCO, G.; VALLE, H. F. del (ed.). **Geopedology - An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies**. Switzerland: Springer, 2016. p. 239-250.
87. SALDAÑA, A.; IBÁÑEZ, J. J.; ZINCK, J. A. Geomorphology Soilscape analysis at different scales using pattern indices in the Jarama – Henares interfluvium and Henares River valley, Central Spain. **Geomorphology**, v. 135, n. 3–4, p. 284–294, 2011. DOI: 10.1016/j.geomorph.2011.02.016.
88. SANTOS, L. J. C. Contribuição da análise estrutural da cobertura pedológica ao desenvolvimento da ciência do solo. **Revista RA'EGA**, n. 4, p. 131–138, 2000. DOI: 10.5380/raega.v4i0.3344
89. SCHAEFER, C.E.G. R.; MARQUES, A.F.S.M.; CAMPOS, J.C.F. Origens da Pedologia do Brasil: Resenha histórica. **GEONOMOS**, v. 5, n. 1, p. 1-15, 1997.
90. SCULL, P.; FRANKLIN, J.; CHADWICK, O. A.; McARTHUR, D. Predictive soil mapping: a review. **Progress in Physical Geography**, v.27, n.2, p. 171-197, 2003. DOI: 10.1191/0309133303pp366ra
91. SHRESTHA, D. P.; MOONJUN, R.; FARSHAD, A.; UDOMSRI, S. Adequacy of Soil Information Resulting from Geopedology-Based Predictive Soil Mapping for Assessing Land Degradation : Case Studies in Thailand. In: ZINCK, J. A.; METTERNICHT, G.; BOCCO, G.; VALLE, H. F. del (ed.). **Geopedology - An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies**. Switzerland: Springer, 2016. p. 457–471.
92. SILVA, G. M. Estudo da vulnerabilidade ambiental devido à expansão urbana na bacia hidrográfica do Ribeirão Taboca (DF). Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2019. 77p.
93. SILVA, S. H. G.; MENEZES, M. D. de; MELLO, C. R. de; GÓES, H. T. P. de; OWENS, P. R.; CURTI, N. Geomorphometric tool associated with soil types and properties spatial variability at watersheds under tropical conditions. **Scientia Agricola**, v. 73, n. 4, p. 363-370, 2016. DOI: 10.1590/0103-9016-2015-0293.
94. SOIL SURVEY STAFF. **Keys to soil taxonomy**. US Department of Agriculture, Soil Conservation Service, Pocahontas Press, Blacksburg, 2014.
95. SOIL SURVEY STAFF. **Soil Survey Manual**. 2017
96. THOMAZ, E. L. Aspectos geomorfopedológicos de uma vertente em área de basalto no município de Guarapuava – PR. **Mercator - Revista de Geografia da UFC**, v. 7, n. 14, pp. 67-85, 2008.
97. TRICART, J. **Principes et méthodes de la Géomorphologie**. Masson: Paris, 1965. 496 p.
98. UDOMSRI, S. **Application of computer assisted geopedology to predictive soil mapping and its use in assessing soil erosion prone areas: a case study of Doi Ang Khang, Ang Khang Royal Agricultural Station, Thailand**. MSc. Tese (Doutorado) - International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation (ITC), Enschede. 2006. 129p.
99. VALERIANO, M. M. **TOPODATA: Guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São Jose dos Campos: INPE, 2008. 75p.

100. VASCONCELOS, V.; MARTINS, E. S.; CARVALHO JUNIOR, O. B.; MARQUES JUNIOR, J. SIQUEIRA, D. S.; COUTO JUNIOR, D.; GUIMARÃES, A. F. C.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; REATTO, A. Modelo de evolução pedogeomorfológica da Serra da Canastra, MG. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.14, n.2, p.197-212, 2013. DOI: 10.20502/rbg.v14i2.379.
101. VÁSQUEZ, G. F. S. Levantamiento geopedológico de la cuenca baja del rio guayas-ecuador con aplicacion del enfoque sistêmico. In: XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, 12., 2010, Santo Domingo. **Anais...** Santo Domingo: Universidad Tecnológica Equinoccial, 2010. p. 1-11.
102. VIDAL-TORRADO, P.; LEPSCH, I. F.; CASTRO, S. S. Conceitos e aplicações das relações pedologia-geomorfologia em regiões tropicais úmidas. In: VIDAL-TORRADO, P.; ALLEONI, L. R. F.; COOPER, M.; SILVA, A. P.; CARDOSO, E. J. (Ed.). **Tópicos em Ciência do Solo**. Viçosa. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, v.4, p.145-192, 2005.
103. VILLELA, F. N. J.; ROSS, J. L. S.; MANFREDINI, S. Análise geomorfopedológica na borda leste da bacia sedimentar do Paraná, sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.16, n.4, p. 669-682, 2015. DOI: 10.20502/rbg.v16i4.608.
104. VIZGARRA, L. A.; MORETTI, L. M.; RODRÍGUEZ, D. M.; SCHULZ, G. A.; TENTI VUEGEN, L.; MAS, L. I.; AVALOS, A. M. Aplicación del enfoque geopedológico para el relevamiento semidetallado de suelos en el noreste de Santiago del Estero. In: XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 26., 2018, Tucumán. **Anais...** Tucumán: Associação Argentina de Ciência del Suelo. 2018. p. 57-62.
105. ZINCK J. A. **Physiography and soils**. Enschede: International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences (ITC), 1988. 161p. Lecture notes.
106. ZINCK, J. A. **Geopedología: Elementos de geomorfología para estudios de suelos y de riesgos naturales**. Enschede: International Institute for Geoinformation Science and Earth Observation, 2012. 123 p.
107. ZINCK, J. A.; METTERNICHT, G.; BOCCO, G.; VALLE, H. F. del (ed.). **Geopedology - An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies**. Switzerland: Springer, 2016. 551p.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.